



Naturresurs- och lantbruksfakulteten
Institutionen för bioenergi
Examensarbete i ämnet teknologi

Rökgaskondensering och skrubber till vedeldade villapannor

Condenser and scrubber, for small wood fired household heaters

Mia Persson

Abstract

Persson, M. 2005. *Condenser and scrubber, for small wood fired household heaters*. M.Sc. thesis. ISSN 1650-8300, ISSN 1651-761X.

This paper deals with the opportunities for the technique of condensation, for wood fired household heaters, on the Swedish market. In this project the condenser is preceded by a scrubber and both energy exchange and separation of unburnt particles have been studied.

The facility studied is connected to a wood stove at 30 kW. The tests would show that the effect from the stove never reached above 16 kW. This might be a result of the low temperature of the water going into the stove, from the condenser. In addition to this the wood was not of highest quality and the stove could have needed some maintenance before the tests. The maximum effect obtained from the condenser was 4.5 kW, at 12°C. At 20°C the obtained effect still was about 4 kW. If the stove produces 30 kW and the condenser 4,5 kW it would contribute with 13 % of the household's total need for energy.

Hydrocarbons, mostly terpens, and carbon monoxide have been detected in the water from the scrubber. This proves that a reduction of these harmful emissions takes place. Unfortunately no evaluation could be made concerning how good the reduction really was.

The cost of the prototype facility was 60 000 SEK, a possible reduction of this cost is said to be about 50 %. Even if it is possible to reduce the cost further the market might only be interested in the technique if its ability to reduce the emissions of unburnt particles is properly appraised. This could be accomplished either by stricter regulations regarding how much that is allowed to be emitted or by economic signals, such as taxes.

Keywords: flue gas, condensation, wood fired household heaters, energy exchange, emissions, combustion, effect, energy uptake.

Mia Person, Långviksvägen 15, SE-825 91 IGGESUND, Sweden.

Förord

Handledare: Erik Gunnarsson

Genomfört hos: Energikontroll
Hornevägen 9
827 30 Ljusdal

Ämnesgranskare: Tatjana Stern
Institutionen för bioenergi
Box 7061
750 07 Uppsala
Sveriges lantbruksuniversitet

Examinator: Bengt Hillring
Institutionen för bioenergi
Sveriges lantbruksuniversitet

Förutom ett stort tack till min handledare, *Erik Gunnarsson*, och ämnesgranskaren för rapporten, *Tatjana Stern*, vill jag tacka alla som hjälpt mig med information, synpunkter och stöd. Framförallt skulle jag vilja rikta ett tack till alla vänliga själar i Ljusdals kommun:

Ideum Clara Vallis, och då Kristofer Breig i synnerhet,
kommunens energirådgivare, Lennart Wing,
gymnasieskolans personal samt
bibliotekarierna vid huvudbiblioteket i Ljusdal.

Mia Persson
Uppsala, december 2004

Tryckortsuppgifter

Ansvarig utgivare: Bengt Hillring

Copyright © Mia Persson och Institutionen för bioenergi, Sveriges lantbruksuniversitet.
UPTEC ES 05 002, ISSN 1650-8300, ISSN 1651-761X.
Tryck hos Institutionen för bioenergi, SLU, Uppsala, 2005.

Sammanfattning

Anläggningen som har studerats är tänkt till vedeldade villapannor och består av en rökgaskondensor med föregående skrubber. Skrubberns uppgift är att tvätta rökgasen¹ på framförallt vattenlösliga föreningar och stoft, vilket sker genom att vatten sprutas in över rökgasen. Rökgaskondensorns uppgift är att ta tillvara på den energi som finns i rökgaserna. Det görs genom att rökgaserna passerar genom en värmeväxlare, med vatten som kylmedium. Vattnet tas in i nedre delen av värmeväxlaren och rökgasen kommer in i den övre delen. Rökgasen passerar sedan den vattenfyllda värmeväxlaren genom 18 stycken parallella rör. När temperaturen på rökgaserna sänks avges energi. Störst energiutvinning fås dock ur rökgasens så kallade latent värme. Med det latent värmets hjälp kan värme som kan utvinnas tack vare att vattenånga i rökgasen övergår till flytande vatten. Energin som kan utvinnas om vattnet kondenserar (övergår från gas till flytande form) är ungefär 1 200 gånger större än om temperaturen på samma mängd vattenånga sänks med en grad.

Ökningen av mängden växthusgaser i atmosfären har lett till att koldioxidneutrala energibärare, bland annat ved, fått allt mer uppmärksamhet. Vedeldningen leder dock till oönskad utsläpp av oförbrända kolväten och kolmonoxid. Dessa utsläpp har en negativ inverkan på vår hälsa och omgivning.

Ryssland ratificerade Kyotoprotokollet hösten 2004 och därmed kommer protokollet att bli internationell lag. Sverige måste då klara sitt åtagande på att, under perioden 2008-2012, inte ha ökat de årliga utsläppen av koldioxidekvivalenter med mer än 4 %, jämfört med 1990. Regeringen har dock beslutat att landet ska ha ett ambitiösare nationellt mål och i stället minska utsläppen med minst 4 %. Utsläppen från småskalig vedeldning kommer inte innefattas i den handel med utsläppsrätter som drar igång vid årsskiftet men eftersom utsläppen av metan från vedeldning är betydande kan det tänkas att även utsläppen från den småskaliga sektorn kommer att undersökas närmare inom en snar framtid.

I dag finns rökgaskondensorer till större anläggningar i Sverige, till exempel vid fjärrvärmeverk, men inte till villapannor. Utvecklingen av vedpannorna har dock lett till en kraftig reduktion av utsläppen och en ökning av verkningsgraden. Förhoppningen med detta arbete är att visa på att mer kan göras både för ökat energiuttag och för minskade utsläpp.

En studie utförd vid Termiska Processer i Studsvik (TPS) visar på att effekten från en rökgaskondensor, kopplad till en panna på 30 kW, kan variera mellan 3,3 kW och 7,4 kW beroende på rökgaskondensorns utformning. Det som skulle ge högst effekt är en rökgaskondensor med räfflade kanaler och där vatten sprayas över rökgasen. Studien pekade också på att temperaturen på kylvattnet in till rökgaskondensorn bör vara låg och att temperaturen ut från rökgaskondensorn inte bör överstiga 30°C. Den låga temperaturen innebär att rökgaskondensorn helst bör

¹ Rökgas = den rök som lämnar pannan.

kopplas till en kombination av att förvärma tappvarmvattnet och att bidra till husets uppvärmning via en golvvärmeslinga. En låg temperatur in till pannan kan nämligen riskera att försämra förbränningen.

I de försök som gjorts har vattnet från rökgaskondensorn gått direkt till pannan. Effekten över pannan var under testerna oväntat låg, maximalt 16 kW, något som kan bero på en låg vattentemperatur eller igensatta turbulatorer i pannan. Turbulatorernas uppgift är att sätta rökgasen i rörelse så att värmen avges mer effektivt till vattnet i pannan. Att energivärdet i bränslet inte varit det bästa har troligen också bidragit till att sänka effekten.

Bränslet som använts vid genomförda tester beräknas ha haft en fukthalt på 25,5 %.

När temperaturen på kylvattnet in till rökgaskondensorn hölls under 20°C gavs effekter på 4 till 4,5 kW. När testerna fortskred steg dock temperaturen på kylvattnet och vid temperaturer över 30°C låg effekten från rökgaskondensorn på maximalt 2 kW, ofta bara kring 1 kW. Även negativa effekter har erhållits när kylvattentemperaturen varit upp mot 40°C. Negativa effekter ner mot -3,5 kW har beräknats. Eftersom effekten beräknas utifrån skillnaden i vattnets energiinnehåll före och efter rökgaskondensorn innebär en negativ effekt att värme avges från vattnet till rökgaserna istället för tvärtom. När temperaturen på vattnet blir hög, upp mot 40°C, kan så bli fallet men att det skulle vara så mycket som 3,5 kW är dock föga troligt. Att beräkningarna har gjorts utifrån den temperaturdifferens som råder momentant, utan hänsyn till tidsförskjutningar i systemet, har tillsammans med det faktum att temperaturen på inkommande kylvatten varierat lett till att utslaget blivit så stort. Det vatten som har passerat färdigt genom rökgaskondensorn kan då nämligen ha en lägre temperatur, efter passagen, än det vatten som samtidigt går in i rökgaskondensorn även om vattnet som lämnar rökgaskondensorn faktiskt tagit upp energi i vid passagen.

Det bedöms i denna rapport som möjligt att rökgaskondensorn skulle kunna stå för 13 % av ett hushålls uppvärmnings- och tappvarmvattenbehov. Om behovet är totalt 20 000 kWh per år skulle rökgaskondensorn stå för 2 600 kWh av dessa. Det skulle innebära ett minskat behov av ved med ungefär 2,6 m³, travad ved. Besparingen i tid för arbetet med veden beräknas till drygt 11 timmar per år, av ett ursprungligt behov på 87 timmar och 30 minuter. Om eldaren antas ha en lön för arbetet på 65 kronor efter skatt skulle besparingen motsvara knappt 740 kronor per år. Med en antagen livslängd på 20 år för anläggningen skulle den totala besparingen bli 14 800 kronor. Om hänsyn även tas till bland annat kostnaden för veden i sig har priset istället antagits uppgå till 400 kr/m³. Om det dessutom antas att pannan bara ger 16 kW, i förhållande till 4,5 kW från rökgaskondensorn, fås en total besparing på 44 220 kronor över 20 år. Den prototyp som tagits fram i detta projekt kostade cirka 60 000 kronor. Projektägaren anser det troligt att denna kostnad kan reduceras med 50 %. Med påslag för vinstmarginal, och ett antagande om att villaägaren behöver ta ett treårigt lån för att köpa anläggningen, blir slutpriset ungefär 39 000 kronor. Detta pris är högre än den kostnadsbesparing som troligen skulle kunna intressera villaägaren. Om priset skulle kunna pressas

ytterligare och om besparingen skulle kunna bli större, till följd av ett ökat effektuttag från rökgaskondensorn, kanske det skulle bli ekonomiskt intressant för villaägaren att investera i en anläggning. Om inte det är möjligt kan det ändå bli intressant med tekniken tack vare dess miljöfördelar.

Reningen av rökgaserna har inte kunnat påvisas genom de tester som utförts på rökgaserna. Genom att analysera kondensatet i anläggningen har dock både avskiljning av terpener (tjärer) och kolmonoxid kunnat påvisas. Hur bra denna avskiljning varit har inte kunnat analyseras. En miljövinst genom att utsläppen av oförbrända kolföreningar reduceras skulle kunna innebära en marknad för tekniken. Om det kommer lagkrav på minskade utsläpp eller om ekonomiska styrmedel används, till exempel skatter, skulle efterfrågan på tekniken kunna komma att skapas.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1.	Bakgrund.....	3
1.2.	Placering i utvecklingen.....	3
1.3.	Målsättning	7
2.	System, mätutrustning och övriga förutsättningar	8
2.1.	Anläggningen	8
2.2.	Systemet	10
2.3.	Dasylab	10
2.4.	Mätutrustningen	12
2.5.	Bränslet	13
2.6.	Trycket	13
2.7.	Begränsningar i systemet	13
3.	Metoder	15
3.1.	Bränslets fukthalt	15
3.2.	Beräkningsprogrammet	16
3.3.	Genomförande av testerna.....	16
3.4.	Analyserna	18
3.5.	Förväntade resultat.....	19
4.	Resultat och observationer	19
4.1.	Bränslets fukthalt	19
4.2.	Testerna.....	20
4.3.	Energiutbyte.....	26
4.4.	Rökgasrening	27
4.5.	Observationer	28
4.6.	Diskussioner kring mätningar och resultat.....	29
5.	Resultat av analysen	33
5.1.	Praktiskt	33
5.2.	Marknadsutsikter.....	35
5.3.	Ekonomi.....	36
5.4.	Diskussion kring analyserna	40
6.	Förslag till utveckling	42
7.	Referenser	43
7.1.	Tryckta referenser	43
7.2.	Övriga referenser.....	44

BILAGA A: Beräkningar

BILAGA B: Beteckningar och data som används i BILAGA A

BILAGA C: Uppställning

BILAGA D: Syra- Bastitrering

BILAGA E: Instruktion till stoftprovtagning

BILAGA F: Om Kyotoprotokollet

1. Inledning

”Biobränslen är potentiellt våra miljövänligaste bränslen.
Biobränslen är inte definitionsmässigt miljövänliga.”
(Forsberg, 1994)

Idag diskuteras den globala uppvärmningen och dess konsekvenser allt mer. Koldioxiden utpekas som den största boven i dramat och de så kallade koldioxidneutrala biobränslena förordas. Biobränslen, som exempelvis ved, bildas via fotosyntesen av koldioxid och vatten. Vid fullständig förbränning av veden skulle alla kolatomer åter bilda koldioxid och på så sätt kunna delta i fotosyntesen på nytt. Olja, kol och gas har också sitt ursprung i fotosyntesen men det finns en viktig skillnad: När dessa fossila bränslen bildades skedde en inlagring av koldioxid i marken. Den förbränning av olja, kol och gas som sker idag innebär att koldioxiden frigörs till atmosfären i en mycket snabbare takt än en eventuell samtida återinlagring av koldioxid.

Koldioxiden är en av de växthusgaser som tas upp i Kyotoprotokollet (se Bilaga F). I och med att Ryssland ratificerade protokollet hösten 2004 så blir det nu internationell lag (Bioenergi, 2004). Sveriges åtagande enligt protokollet är att de årliga utsläppen av koldioxidekvivalenter, under perioden 2008-2012, maximalt skall ha ökat med 4 %, jämfört med utsläppen 1990. Regeringens klimatmål är däremot att landet under motsvarande period istället ska sikta på att minska utsläppen med 4 % (Karlsson, 2004).

Om ett land inte skulle kunna uppfylla sina åtaganden enligt protokollet kommer det att finnas möjlighet att utnyttja så kallade flexibla mekanismer. Dessa går i princip ut på att ett land kan köpa utsläppsrätter från ett land som överträffat sina åtaganden. För att detta ska kunna fungera i praktiken måste mätningar av anläggningar kunna göras på ett enhetligt sätt. Genom att handel med utsläppsrätter kommer igång vid årsskiftet 2004/2005 här i Sverige är förhoppningen att handeln, samt övervakningen av densamma, ska fungera smärtfritt under perioden 2008-2012. Ett land som Sverige, med mycket skog, skulle också kunna tillgodoräkna sig denna som så kallad koldioxidsänka. Med koldioxidsänka avses att en nettoinlagring av koldioxid sker i biomassan.

”Redan på stenåldern kände människan till hur man ackumulerar värme från en brasa. Utgrävningar i Norrbotten visar att det redan för 6 000 år sedan fanns eldstäder med omvänd förbränning, rökkanaler under husen och ackumulering i stenlager. När klimatet blev varmare försvann kunskapen ur byggnadskonsten och egentligen var det först på 1700-talet ackumulerings-tekniken återkom, i och med att kakelugnen uppfanns.”
(Krögerström, 1993)

Människan har länge använt biobränsle för sin uppvärmning, från den öppna eldstaden fram till dagens pannor. När kolet och oljan gjorde sitt intåg på energimarknaden behövdes inte längre lika mycket arbete för samma mängd energi. De nya bränslena tog dessutom mycket mindre plats. När 70-talets oljekris kom ökade intresset för de inhemska biobränslena åter. Förbränningen skedde med överförbränning, antingen i renodlade vedpannor eller i kombipannor.

För att öka verkningsgraden hos pannan, och samtidigt minska utsläppen av oförbrända kolväten, har tekniken i själva pannan utvecklats men även ackumuleringens positiva effekter har belysts. Den förbättrade pannan kan inte visa sin fulla potential om den inte kopplas till en ackumulatortank. Ackumulatoren ger fördelen att pannan kan eldas på full effekt under en längre tid och pyrelidning kan undvikas. Utan ackumulator kan värmen bara avsättas mot det behov som finns i bostaden temporärt, vilket gör att energin från ett helt panninlägg kanske inte kan tas till vara. Med en ackumulatortank ska all energi från minst ett panninlägg kunna tas tillvara. Med en större ackumulatorvolym kan flera panninlägg göras under en eldningsfas, därmed undviks de höga utsläppen som uppstår vid varje ny tändnings- och utsläkningsfas.

Parallellt med utvecklingen av vedpannorna har teknik för bland annat pellets tagits fram. Pellets har många fördelar. Det är ett homogent bränsle med låg fukthalt, omkring 10 %. Den kan tack vare sin storlek användas för automatisk inmatning i en panna, på motsvarande sätt som i en oljepanna. Nackdelen med pellets i förhållande till vedeldning är att priset är högre. Veden anses av många vedeldare som gratis, medan pellets kostar uppemot 40 öre per kWh.

Nackdelen med eldning av ved i villapannor är att det är svårt att uppnå fullständig förbränning. Resultatet blir därmed att rökgasen från förbränningen även innehåller oönskade komponenter. Flera utav dessa är hälsofarliga för människan i större koncentrationer. Förutom att de är hälsofarliga påverkas även vår omgivning. Utsläppen av metan från biobränsleanvändningen i småhus uppgick, enligt Naturvårdsverket, 2001 till 10 300 ton per år (Filipsson m.fl., 2003) och i ett 100 årigt perspektiv är metangasen en 21 gånger kraftigare växthusgas än koldioxid (Rydh, Lindahl & Tingström, 2002). Metangasen återupptas inte av växterna.

Den utveckling som skett av vedeldade pannor har lett till att halterna av oönskade komponenter har reducerats kraftigt. De bästa resultaten nås vid eldning med torr ved i en miljögodkänd panna. Pannan ska vara kopplad till ackumulatortank så att förbränningen kan ske med full effekt under så stor del av eldningsförloppet som möjligt. Den anläggning som studeras i denna rapport kan förhoppningsvis reducera dessa halter ytterligare, samtidigt som mer energi tas till vara.

1.1. Bakgrund

1.1.1. Energimyndigheten

Detta projekt är beställt av Statens Energimyndighet (STEM) under titeln "Småskalig rökgaskondensering" (Dnr 511-2002-03785). Projektet skulle omfatta dimensionering, uppförande och utvärdering av en rökgaskondensor för villabruk.

1.1.2. Energikontroll

Som projektägare står företaget Energikontroll, som även dimensionerat och konstruerat rökgaskondensorn. Allan Rehnström har dimensionerat dysorna till skrubbersteget och företaget Rörteknik har tillverkat anläggningen. Energikontroll är ett enmansföretag bestående av Erik Gunnarsson från Ljusdal. Det är han som kommit med idén och det är även i Gunnarssons bostad som rökgaskondensorn installerats.

1.1.3. Examensarbetet

Examensarbetets del i detta projekt skulle vara att analysera prestandan hos anläggningen, samt att sammanställa resultaten i denna rapport. Under arbetet med att förbereda inför mätningar och analys har vissa justeringar av anläggningens inkoppling till det övriga systemet visat sig vara nödvändiga. Även viss mätutrustning fungerade inledningsvis otillfredsställande. Härmed har examensarbetet mer fått karaktären av att färdigställa anläggningen för testning samt att ta fram ett underlag för vilka ytterligare mätningar och analyser som kan vara lämpliga.

1.2. Placering i utvecklingen

1.2.1. På marknaden idag

"I Sverige finns ca 700 000 småhus med pannor som kan använda olja, ved, pellets eller en kombination av dessa bränslen. Många kan även använda el. Under de senaste tio åren har mellan 15 000 och 18 000 pannor bytts per år, vilket innebär att ca 25 % av beståndet kan anses vara modernt. Mellan 1994 och 2000 installerades omkring 110 000 värmepumpar av olika slag." (Energimyndigheten, 2002).

"Sedan år 2000 har hela 16 % eller 27 650 dåliga vedpannor försvunnit. Förklaringen finns i att allt fler villaägare väljer att satsa på nya moderna vedpannor och pelletsteknik.

Samtidigt som vedeldningen ökar minskar antalet oljeeldade fastigheter med drygt 20 400 st.

Det betyder att ved- och pelletseldningen storleksmässigt nu är ungefär likvärdig med oljeeldningen.

Lägger vi samman alla sotade villapannor så finner vi att vi sedan toppåret 1999 tappat närmare 140 000 fastigheter – flertalet sannolikt till fjärrvärme och värmepumpar. ---

- Att ved- och pelletseldningen ökar trots att antalet värmepannor totalt sett minskar beror på att allt fler villaägare vill ha möjlighet att kunna påverka sina uppvärmningskostnader.

- Den senaste tidens kraftiga prishöjningar på olja och elström märks inte på till exempel pelletspriset som till och med blivit billigare inför denna eldningssäsong, säger David Wiman ordförande i PellSam.”
(Wiman & Löfgren, 2004).

Rökgaskondensering tillämpas i Sverige vid stora anläggningar för biobränsleeldning, till exempel i fjärrvärmeverk. I villapannor har temperaturen på rökgasen däremot medvetet hållits högre för att undvika korrosion i rökkanalen samt säkerställa tillräckligt drag.

En för låg temperatur resulterar i att vatten fälls ut ur rökgaserna och tillsammans med exempelvis svaveldioxid ur desamma bildas syror som fräter på rökkanalen. I de större kommersiella anläggningarna kan den energi som frigörs när vattnet kondenserar – fälls ut – utnyttjas tack vare att materialet i kondensor och efterföljande rökkanaler anpassats till att stå emot korrosionen bättre. Till moderna pannor används idag ofta rökgasfläktar, varmed tillräckligt drag inte behöver tillgodoses med temperaturgradienten.

”En våt och kall rökkanal har dessutom sämre dragförhållanden och kan därmed också påverka förbränningsresultatet. Därför kan man utgå ifrån att rökgastemperaturen sällan bör tillåtas understiga 165 á 170 grader.” (Ljungblom, 1994).

Den minsta storleken på rökgaskondensorer som påträffats på marknaden, under arbetet med denna rapport, är de koniska rökgaskylare som Energi Persson konstruerar. De är avsedda för olja, gas och biobränsleeldade pannor på 100 kW och uppåt (www.energipersson.se, 2004-12-06). Det är möjligt att denna teknik även skulle kunna fungera för vanliga villapannor men det uppges inte huruvida detta har undersökts eller ej. De koniska rökgaskylarna föregås inte av något skrubbersteg.

Utöver de ekonomiska fördelarna med att ta tillvara på mer av energin från rökgaserna innebär rökgaskondenseringen även miljömässiga fördelar. Vattenlösliga föroreningar följer till viss grad med det kondenserande vattnet och kan samlas upp med kondensatet. För att ytterligare dra nytta av denna rening föregås rökgaskondensorn i större anläggningar ibland av ett så kallat ”skrubbersteg”. Skrubberns uppgift är just att tvätta rökgaserna från vattenlösliga föroreningar genom att spruta in vatten över rökgasen.

1.2.2. Utsläpp

”Vilka utsläpp som är skadligast är inte lätt att fastställa. Koldioxid påverkar det globala klimatet och den så kallade växthuseffekten, men kväveoxiderna leder till övergödning och förorening av marker och vatten. Svaveldioxid leder till förorening lokalt och regionalt. VOC- och stoftutsläpp är främst hälsovådliga och har lokal effekt.”
(Energimyndigheten, 2002)

Emissionsfaktorer från olika tekniker per MWh (Energimyndigheten, 2002)

	Stoft gram	VOC gram	SO₂ gram	NO_x gram	CO₂ kilo
Fjärrvärme	40	109	168	280	31
Olja	36	11	180	216	281
Naturgas	0	0	0	180	202
Pellets	72	180	108	180	0
Elvärme					
nordisk mix	10	0	50	100	60
Elvärme Kolkondens					
som marginal el	20	3	180	150	92

Miljö- och hälsoproblem härstammande från småskalig vedeldning har studerats genom Naturvårdsverket sedan början av 80-talet (Filipsson m.fl., 2003). Konsekvenser som uppmärksammas under åren är bland annat irritation i luftvägarna, allergier, förhöjd cancerrisk och ökad risk för hjärt- och kärlsjukdomar (Filipsson m.fl., 2003). Moderna pannor, med omvänd eller underförbränning, har visat sig ge betydligt mindre utsläpp än de traditionella överförbränningspannorna. Utsläppskraven på tjära, 30 mg/MJ, klaras bara av de moderna pannorna och då endast om de eldas mot ackumulator. (Kovács, 2000). Även till exempel utsläppen av VOC² minskas kraftigt vid eldning mot ackumulatortank (Kovács, 2000). De sänkta utsläppen av tjära och kolmonoxid uppnås tack vare att en bättre förbränning kan upprätthållas när pannan kan gå på full effekt under längre tid.

Tabell 1.1: *Utsläpp av tjära och kolmonoxid från modern vedpanna (Bernergård m.fl., 1993)*

	Bränsle	Tjära [mg/MJ]	Kolmonoxid [mg/MJ]
Ackumulator			
eldning (full effekt)	Torr ved	15	1250
	Fuktig ved	30	1350
Direkt eldning			
(låg effekt)	Torr ved	600	6050

Utsläppen av kväveoxider ökar vid eldning i moderna pannor mot ackumulator (Bernergård m.fl., 1993) som en följd av den förhöjda förbränningstemperaturen.

² Volatile Organic Compounds = Flyktiga kolväteföreningar

1.2.3. Studie genomförd vid TPS (Fredriksson, Ramström & Berge, 2002)

Som framgår av avsnitt 1.2.1, ovan, är den minsta anläggningen som påträffats de koniska rökgaskylarna från Energi Persson vilka är anpassade för pannor från 100 kW och uppåt. Det vill säga att enligt vad som framkommit under arbetet med rapporten, finns ännu inga rökgaskondenseringsanläggningar för villabruk på den Svenska marknaden. Vid Termiska Processer (TPS), i Studsvik, har en studie av en rökgaskondensor utförts: "Optimerad ved-/pelletsanna med rökgaskondensering." I den simulerades först vilken påverkan kondensorns utformning hade på energiöverföringen. Därefter konstruerades en prototyp som testades mot en pelleteldad villapanna. Rökgaskondensorn i studien vid TPS kombinerades inte med något skrubbersteg på det sätt som anläggningen i detta projekt gjorts. I rökgaskondensorn vid TPS monterades i stället spraymunstyckena direkt ovanför rökgaskondensorn. Anläggningen som används i detta projekt är dessutom, till skillnad från anläggningen vid TPS, kopplad till en befintlig villa med ett reellt värmebehov.

Statens energimyndighet stod som beställare även av projektet vid TPS, men det här projektet är inte knutet till det tidigare projektet. Resultatet från studien vid TPS slutade i att värmeöverföringen kunde förbättras avsevärt beroende på hur rökgaskondensorn utformades. Från ett basfall med släta kanaler och utan spraytillsats beräknades effekten från rökgaskondensorn (panna på 30 kW) kunna ökas med 124 %, från 3,3 kW till 7,4 kW, om kanalerna istället vore räfflade och spray tillsattes. (Att införandet av flänsar medför ett minskat motstånd mot värmeöverföring anges också i till exempel DeWitt & Incropera (1996).) Räfflorna skulle dock kunna innebära en ökad risk för igensättning och större krav på underhåll.

För att kunna utnyttja rökgaskondensorn på bästa sätt anges att temperaturen på vattnet ut från rökgaskondensorn inte bör överstiga 30°C. Därmed måste returtemperaturen till rökgaskondensorn vara ännu lägre. I rapporten anges att en kombination av förvärmning av tappvarmvattnet och en golvvärmeslinga vore det mest optimala för att ha en bra värmesänka såväl sommar som vinter. Från resultatet av den ekonomiska analysen som gjorts i den rapporten dras slutsatsen att installation av rökgaskondensor bara kan vara ekonomiskt motiverat vid konvertering från olja eller el, eller om den integreras i en ny panna. Installationer i serie med en gammal vedpanna avråder rapporten från med motiveringen att de höga föroreningshalterna innebär att drift och underhåll försvåras samt att kondensatet i dessa fall förväntas bli dyrt att hantera. I det här projektet studeras däremot möjligheten att utnyttja rökgaskondensorn till just biobränsleeldade pannor. Pannan som har utnyttjats i arbetet räknas visserligen till de moderna, men vissa resultat går att använda även för överförbränningspannor.

1.3. Målsättning

1.3.1. Syfte

I denna rapport ska möjligheterna på den svenska marknaden undersökas för en rökgaskondensor, med föregående skrubber, kopplad till en bibränsleeldad villapanna. Det primära arbetet inriktas på att mäta den energibesparing som anläggningen möjliggör och att undersöka reduktionen av stoft i rökgasen. För att kunna dra slutsatser om anläggningens möjligheter på marknaden kommer, förutom prestandaberäkningarna, en mindre översikt av framtidsutsikter och behov av arbetsinsatser att genomföras. Även en enklare uppskattning över den eventuella ekonomiska lönsamheten hos rökgaskondensorn kommer göras.

Den praktiska analysen kommer att behandla förändringar med avseende på skötsel, slitage och arbetsbehov för det nya systemet jämfört med ett system utan rökgaskondensor.

I marknadsanalysen diskuteras vilken riktning politiska beslut och andra omvärldsfaktorer kan tänkas ta.

I den ekonomiska analysen undersöks kostnader för framställandet av rökgaskondensorn. Även kostnader och besparingar för bränsle och arbetsinsats i samband med eldningen kommer att ses över.

1.3.2. Avgränsning

Följande antaganden och andra medvetna avgränsningar har gjorts för att begränsa arbetet:

Bränslets fukthalt har bara testats på ett vedträ.

Rökgasen har antagits mättad på vattenånga när den lämnar skrubbersteget samt när den lämnar värmeväxlarsteget (se avsnitt 2.1). Förbränningen i pannen har antagits vara fullständig. Ingen jämförande beräkning av skillnaderna mellan fullständig respektive ofullständig förbränning har gjorts. Ingen hänsyn har heller tagits till att förbränningen sker med olika intensitet och växlande rökgassammansättning.

Förändringar i rökgastemperatur och volymflödet av rökgaser har inte satts i relation till effektuttaget från rökgaskondensorn.

Tidsförskjutningar i mätvärdena kan påverka resultaten. Med tidsförskjutningar menas här att det tar en viss tid för vattnet i ackumulatorkretsen att passera igenom rökgaskondensorn. (Se vidare förklaring under avsnitt 4.2.3) Förväntningarna var att mätvärdena skulle te sig någotsånär konstanta över tiden, varmed tidsförskjutningen inte skulle ha haft någon större inverkan. Ingen kompensation för tidsförskjutningarna har gjorts.

Inga beräkningar över mätosäkerheter har genomförts eftersom osäkerheterna i mätvärdena till följd av att förbränningen är ofullständig inte kunnat uppskattas. Troligt är dock att dessa i de försök som gjorts överstiger avvikelser härrörande från mätmetod, givare, mätkort, logger och beräkningar. Tidsförskjutningar, enligt ovan, bidrar också till avvikelserna.

Anläggningen bidrar till att rena rökgaserna från framförallt vattenlösliga emissioner, se avsnitt 2.1. I denna rapport diskuteras bara utsläpp, respektive rening, av kolbaserade föreningar och stoft. De föreningar som omnämns är koldioxid, kolmonoxid, metan, VOC och terpenier (tjära).

Framtidsanalysen kommer inte att omfatta mer än närmast förestående 15 års period. Det som kommer att tas upp är eventuella beslut om utsläppsgränser i framförallt tätorter samt eventuell ekonomisk styrning. Även en mindre marknadsanalys av hur stor efterfrågan skulle kunna vara i Sverige görs.

Kostnader och besparingar i den ekonomiska analysen kommer att beräknas utifrån en livslängd på 20 år hos anläggningen. Inflationen har inte tagits med.

2. System, mätutrustning och övriga förutsättningar

I Bilaga C ges en översiktlig bild av delarna i anläggningen.

2.1. Anläggningen

Rökgaskondensorn är tillverkad helt i syrafast stål, SS 2343. Anläggningen består av ett skrubbersteg och ett värmeväxlarsteg. Den varma rökgasen från pannan leds först genom skrubbersteget, där vatten sprutas ut över rökgasen, och sedan genom värmeväxlarsteget, där energiinnehållet i rökgasen tas tillvara. Nedanför de båda stegen finns en gemensam behållare med vatten, kondensattanken, se även Bilaga C.

2.1.1. Skrubbersteget

Skrubbersteget är i princip mycket enkelt. Vatten sprutas in i rökgasen via dysor varmed stoft och andra vattenlösliga partiklar binds till vattnet. Under skrubbern samlas vattnet upp i



Bild 2.1: Rökgaskondensorn Skrubbersteg, värmeväxlare samt uppsamlingstank för kondensatet.

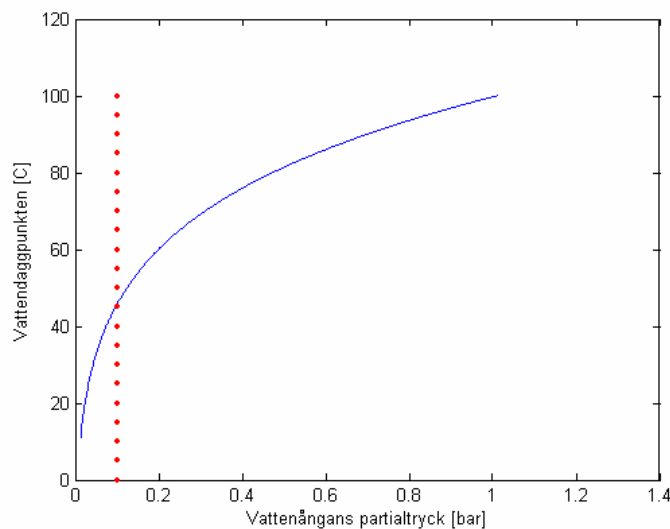
kondensattanken. Skrubberns uppgift är alltså att rena rökgaserna från oförbrända komponenter. Det vatten som sprutas in över rökgaserna tas från kondensattanken under skrubbern. Eftersom vattnet innehåller oförbrända partiklar passerar det först ett enkelt filter innan det går in i pump och dysor.

Insprutningen av vatten har även en annan effekt, nämligen att vattenhalten i rökgasen ökar. Den ökade vattenhalten utnyttjas sedan i värmeväxlarsteget.

2.1.2. Värmeväxlarsteget

Värmeväxlarsteget består av 18 stycken rör i vilka rökgaserna leds. Runt rören leds kylvatten som efter passagen genom värmeväxlaren leds in i pannan. När kylvattnet är kallare än rökgasen kan energi föras över från rökgasen till vattnet. Den energi som kan föras över beror (förutom på värmeväxlarens värmeöverförande förmåga) dels på temperaturdifferensen mellan rökgasen och vattnet och dels på den dagtemperatur som råder i rökgasen.

Om rökgaserna kyls under daggpunkten börjar vattnet i rökgasen att fällas ut – kondensera – vilket ger möjlighet till ett större upptag av energi. När ett kilogram vattenånga kyls ner en grad från t.ex. 40°C till 39°C så frigörs knappt 2 kJ energi (Wester, 1998). När ett kilo vattenånga kondenserar vid temperaturen 40°C så frigörs i stället ungefär 2 400 kJ energi (Wester, 1998), alltså 1 200 gånger mer energi. Ju högre temperatur rökgasen har desto mer vattenånga kan hålla sig i ångform.



Figur 2.1: Vattendaggpunkten som funktion av vattenångans partialtryck i en gasblandning

Vid en fukthalt på 25,5 % och 12 % syrgas i rökgaserna förväntas vattenångans partialtryck ligga kring 0,1 bar, vilket skulle motsvara en daggpunkt på ungefär 45°C .

Daggpunkten anger hur mycket vattenånga som kan hålla sig i ångform vid en viss temperatur. Omvänt gäller också att vid en viss mängd vattenånga så anger daggpunkten vid vilken temperatur vattnet fälls ut. En hög daggtemperatur innebär att när temperaturen sänks kommer vatten att börja fällas ut vid en högre temperatur än om det vore mindre vatten i rökgasen och daggpunkten därmed vore lägre. Eftersom den största energivinsten ligger i fasövergången eftersträvas en så hög daggpunkt som möjligt. När vatten sprutas in över rökgaserna i skrubbersteget mättas rökgaserna på vattenånga och då höjs daggpunkten samtidigt som temperaturen på rökgasen sänks. På detta sätt nås daggtemperaturen omgående i värmeväxlaren.

Den observante inser att när rökgasen mättas på vattenånga i skrubbersteget så går det åt energi. Energin till förångningen fås ur rökgasens sensibla värme och omvandlas till latent värme i vattenångan. När vattenångan kondenserar ut i värmeväxlarsteget sänks daggtemperaturen successivt till följd av att vattenångans partialtryck minskar. Om verkningsgraden för att först förånga och sedan kondensera ut vattnet igen antas vara 100 % kommer energin som utvinns i värmeväxlarsteget ner till temperaturen motsvarande daggtemperaturen före rökgaskondensorn att härstamma från rökgasens sensibla värme. Den temperatursänkning som görs utöver detta kommer att ge den återvinning av energi från förångningen av vatten, härrörande från bränslefukten och bildat vatten i förbränningsprocessen, som eftersträvas. Den mättade rökgasen ger dock ett bättre värmeövergångstal i kondensorn (Fredriksson, Ramström & Berge, 2002) än om rökgasen inte mättas via spraytillsatsen.

2.2. Systemet

Rökgaskondensorn är kopplad efter en underförbränningspanna på 30 kW, Baxi Bonus 30. Värmen från rökgaskondensorn och panna lagras i de två parallellkopplade ackumulatortankarna på vardera 500 liter. Vattnet pumpas från tankarna, genom rökgaskondensorn och tillbaka till tankarna.

När vattnet i pannan går upp till 80°C öppnar den temperaturstyrda ventilen så att vattnet från pannan pumpas till tankarna. Vattnet från rökgaskondensorn fyller nu på med vatten till pannan. Om flödet från rökgaskondensorn är större än flödet av vatten från pannan går resterande vattenflöde från rökgaskondensorn direkt till ackumulatortankarna. Efter den temperaturstyrda ventilen blandas pannvattnet med det eventuella överflödiga vattnet från rökgaskondensorn innan det går in i ackumulatortankarna.

Hela rökgasflödet från pannan leds genom rökgaskondensorn när den är i drift. Skorstenen efter rökgaskondensorn är tillverkad av syrafast stål, SS 2343.

2.3. Dasylab

För att kunna behandla den datamängd som mätarna i systemet samlar in har programmet *DASYLab* använts. Det är framtaget av Dasytec USA, ett National

Instruments företag, och skulle kunna benämnas med "visuell programmering". I programmet kan olika "boxar" eller "lådor" läggas in och sedan bindas samman. I "lådan" anges vad som ska göras med den information som den får från de andra "lådorna" som den är sammanbunden med. Resultatet av behandlingen i "lådan" kan sedan skickas vidare till en eller flera andra "lådor".

I programmet kan mätsignaler läsas in och analyseras direkt. De mätsignaler som tas in via mätkortet PCEDAS 6535, fås som spänningar och anpassas i programmet till den enhet som mätaren mäter. Det går att ta in 16 stycken externa signaler per mätkort, endast ett mätkort har använts i dessa studier. Det går även att generera värden i programmet, både konstanta och periodiskt varierande. Det går också att simulera brus och transienter.

I examensarbetet har det ingått att skapa ett program med hjälp av mjukvaran DASYLab. I programmet tas alla relevanta mätdata, som kan mätas och loggas kontinuerligt, in. Övriga mätvärden anges med konstanta värden. Dessa inlästa och angivna mätdata sparas för att kunna studeras och användas vid ett senare tillfälle.

Under mätningarnas gång beräknas prestandan, det vill säga panneffekt, rökgaskondensorns effekt samt ackumulerat energiuttag från panna respektive ackumulator, i realtid. Resultaten från dessa beräkningar såväl sparas för senare behov som visas upp i datafönstret under pågående mätning.

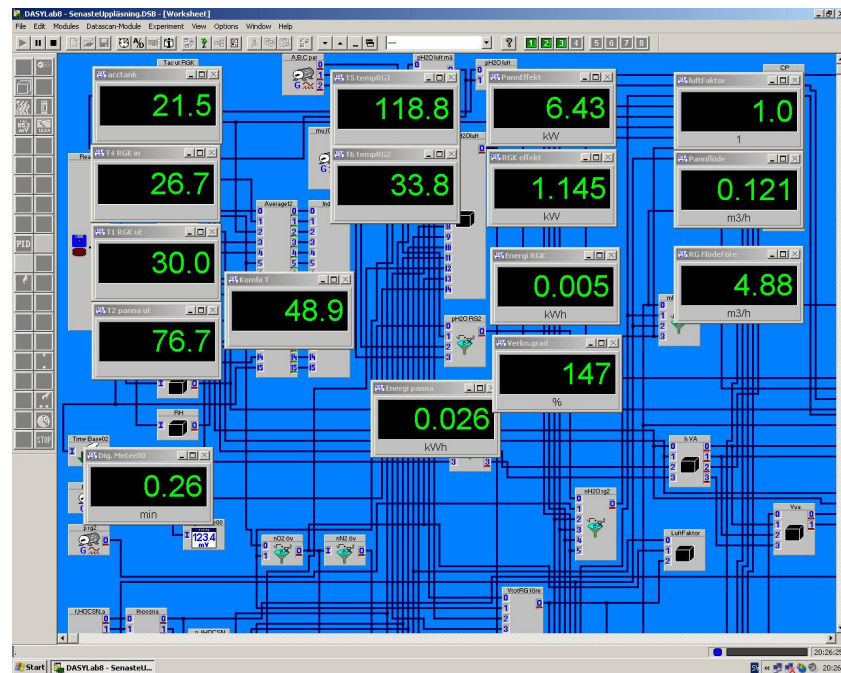


Bild 2.2: DASYLab programmet.

2.4. Mätutrustningen

2.4.1. Stoftmätning

För att kunna mäta stoftreduktionen över rökgaskondensorn har en STL Combi Stoftprovtagare från METLAB miljö AB, Enköping, använts. Utrustningen mäter framförallt provgasflöde och samlar stoftet i det utsugna provgasflödet på två filter.

2.4.2. Kondensat

Prover på vattnet i kondensattanken har tagits och en analys har utförts på SLU för att se vad som fanns i vattnet.

2.4.3. Bränslets fukthalt

Genom att torka bitar av veden i ett värmeskåp vid 105°C under ett dygn har fukthalten i veden bestämts.

2.4.4. Vattenflödet

Vattenflödet mäts med en GPI vippskivemätare.

2.4.5. Relativ luftfuktighet, RH

Den relativa fuktigheten i förbränningsluften har mätts med en Hygrotest 650 av fabrikatet TESTO.

2.4.6. Temperaturer

Pt-100 mätare av klass A har använts. Först utnyttjades APAQ-HRF kort, vilka följde med leveransen från Instrumentation. Dessa gav tyvärr ett oacceptabelt stort rippel på signalen i förhållande till de mätningar som skulle göras: Temperaturdifferensen på ingående och utgående kylvatten i rökgaskondensorn var bara ett par grader medan ripplet på temperatursignalen från Pt-100 mätarna, i kombination med mätkort och DASYLab, var ungefär $\pm 2^\circ\text{C}$. När korten byttes mot IPAQ-H+ kort från INOR process i stället reducerades ripplet betydligt, cirka $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Genom att i programmet lägga in ett andra ordningens Butterworthfilter, 5 Hz, blev signalen ännu stabilare. Risken för att gå miste om information på grund av filtreringen av signalerna har bedömts som mycket liten, Pt-100 mätarna är långsamma och skulle inte kunna återge eventuella höga frekvenser i temperaturvariationer.

Temperaturerna som mättes på vattensidan var: före rökgaskondensorn, efter rökgaskondensorn och efter pannan. Temperaturerna mättes också på; rökgasen efter pannan, rökgasen efter rökgaskondensorn och kondensatet.

Temperaturen i omgivningen mättes med samma mätare som den relativa luftfuktigheten mättes med, Hygrotest 650.

2.4.7. Syrgashalt

För att mäta syrgashalten i rökgasen har en OXITEC, av fabrikatet ENOTEC, använts. Mätaren har suttit i ett rökgasrör parallellt med den ordinarie rökgaskanalen. Detta för att kunna koppla in mätningen först när temperaturen når över 100°C, och därmed minimera risken för att tjära kondenserar ut på mätutrustningen.

2.4.8. Kolmonoxidhalt

Kolmonoxidhalten i rökgasen mättes med en Testo 300. Halten mättes både före och efter rökgaskondensorn.

2.5. Bränslet

Bränslet som användes var rötskadad granved. Valet av bränsle gjordes utifrån att Gunnarsson hade enkel och billig tillgång till detta. Eftersom bränslet var rätt ohomogent genomfördes ingen elementaranalys för bränslet. Istället användes elementaranalysen för ved som anges i Mörtstedt & Hellsten (1987): Syre: 43,7 %, kol 49,7 %, väte 6,1 %, kväve 0 %, aska 0,5 %. Svavelhalten har satts till 0 %. Bränslets fukthalt bestämdes dock, se avsnitt 2.4.3 ovan.

2.6. Trycket

Trycket i omgivningen samt i rökgaskanalen har generaliserats till 101 325 Pa. Detta till följd av att ingen utrustning för tryckmätning har tillämpats. Programvaran DASYLab har avrundat värdet till 101 330 Pa.

2.7. Begränsningar i systemet

2.7.1. Lågpasfilter

Eftersom en analog till digitalomvandlare (A/D-omvandlare) används förloras viss information i mätningarna. När samplingsfrekvensen anges i programvaran DASYLab (1000 Hz har angetts) dras gränsen för överlagringsrisken. Frekvenser högre än den valda samplingsfrekvensen kan, genom superposition, ge ett felaktigt resultat på mätvärdena. För att undvika överlagring på detta sätt kan ett så kallat anti alias filter installeras före A/D-omvandlaren. Ett lågpas anti alias filter, anpassat till den samplingsfrekvens som valts, tar bort signaler på frekvenser högre än de som undersöks. Något lågpasfilter har inte installerats men den överlagring som skulle kunna tänkas ha en signifikant påverkan på signalerna härrör i försöken troligen från mätbrus, bruset kan antas vara ”vitt”, det vill säga variera kring noll, och eventuell överlagring bör således ha eliminerats vid kalibreringen.

2.7.2. Prestanda i förhållande till bränslets fukthalt

Viss mätutrustning samt anläggningens sammankoppling med det övriga systemet fungerade inte tillfredsställande och krävde justeringar under projektets gång. Detta har medfört att det inte funnits tid till att färdigställa den bränsleförångare som

skulle möjliggöra simuleringen av biobränslen med olika fukthalter. Eftersom bränsleförångaren inte kunnat användas har de planerade analyserna av anläggningens prestanda mot fukthalten i bränslet inte kunnat genomföras.

2.7.3. Statisk beräkning av vattenflödet

Under projektets gång fallerade inläsningen av mätvärden från flödesmätaren på kylvattnet, vilket innebar att flödet måste anges statiskt i beräkningsprogrammet. För att erhålla ett konstant flöde över rökgaskondensorn kopplades vattenkretsen om så att när den temperaturstyrda ventilen för pannkretsen var stängd så passerade vattnet direkt till ackumulatortanken. Flödet genom pannan beräknades utifrån temperaturen i en blandningspunkt, innan ackumulatoren, med hjälp av vattnets mass- och energibalans.

2.7.4. Rökgaskondensorns verkningsgrad

De beräkningar som i programmet skulle beräkna rökgaskondensorns verkningsgrad i förhållande till energiinnehållet i rökgasen har inte kunnat utnyttjas. Rökgasflödet skulle bestämmas utifrån ett känt bränsleflöde från bränsleförångaren och därefter ge energiinnehållet. När bränsleförångaren inte kunde färdigställas har inte rökgasflödet per tidsenhet kunnat bestämmas oberoende av effekten från rökgaskondensorn. Om rökgasflödet från vedförbränningen inte hade varit för litet för att kunnat uppmätas med tillgänglig tryckmätare skulle bränsleflödet kunnat beräknats utifrån rökgasflödet.

För att komplettera resultaten från beräkningen av rökgaskondensorns verkningsgrad, som tyvärr inte kunde användas, togs prover på aska och kondensat från en eldningscykel. Utifrån vetskap om bränslets energiinnehåll och hur mycket av bränslet som inte förbrändes fullständigt skulle den frigjorda mängden energi ha beräknats. Om den sedan jämförts med mängden energi som togs upp av vattnet skulle verkningsgraden även kunna beräknas utifrån detta. Ask- och kondensatproverna skickades till SLU för analys. Tyvärr kunde ingen analys på halten av oförbränt i askan erhållas. Detta på grund av att analysen inte kunde genomföras vid institutionen för bioenergi och därmed skulle bli för dyr. För att ha kunnat göra en ordentlig kompletterande beräkning av verkningsgraden, utifrån förlusterna i systemet, borde dessutom prover på halten av oförbränt i rökgasen ha tagits, detta har inte gjorts.

2.7.5. Stoftproverna

På grund av att det bildas saltbeläggningar på provtagningsfiltren efter rökgaskondensorn vid mätningen av stofthalten, se vidare avsnitt 4.4.1, blir resultaten missvisande.

2.7.6. Syrgashalten

På grund av systemets utformning har syrgashaltmätaren, OXITEC, inte kunnat utnyttjas då stoftprover tagits före rökgaskondensorn. Detta eftersom uttaget för stoftmätningen och rökgasrörets återföring sitter mycket nära varandra, se Bilaga C,

och stoftmätningen riskerar att påverkas av detta. Syrgashalten har istället uppmätts med mätaren som använts för att mäta kolmonoxidhalten och ett statistiskt värde för syrgashalten har angetts i beräkningsprogrammet. Det är möjligt att den alternativa syrgasmätningen också påverkar mätresultatet från stoftprovtagningen.

Till följd av att pannan under mätningarna inte uppnått full effekt och något ordentligt stabilt driftfall inte kunnat observeras har det varit svårt att veta hur mycket rökgaskondensorn ger i förhållande till panneffekten. En uppskattning har ändå gjorts.

2.7.7. Reellt behov

Förutsättningarna inför varje driftfall har varierat eftersom pannan är ansluten till ett reellt behov. Inför vissa prov har pannan varit helt utkyld och temperaturen på returvattnet till rökgaskondensorn har varit ner mot 10°C. Inför andra prov har pannan börjat kylas ut men en temperatur på vattnet från pannan på över 30°C har kunnat mätas. Temperaturen på kylvattnet till kondensorn har i dessa fall legat över 20°C redan vid uppstart. Temperaturen på kylvattnet har stigit under försöken och i värsta fall nått upp emot 40°C.

3. Metoder

Arbetet inleddes med en litteraturstudie på området för att se vad som gjorts tidigare samt för att inhämta nödvändig kunskap inför beräkningar och analyser.

3.1. Bränslets fukthalt

Fukthalten bestämdes genom att centimetertjocka skivor sågades ut ur ett vedträ. Första biten togs i ena änden. Nästa bit togs ungefär en decimeter in och nästa ytterligare en decimeter in och så vidare. Den andra änden togs inte med vilket resulterade i fem bitar från det halvmeterlånga vedträet. Fukthalterna i var och en av bitarna bestämdes och viktades sedan samman till en genomsnittlig fukthalt hos vedträet, se Figur 3.1.

reningsgrad har stoftprover tagits före och efter rökgaskondensorn. Försöken har gjorts dels vid tändning och dels när förbränningen har kommit igång ordentligt.

Förberedelser inför och genomförande av stoftprovtagningen har följt instruktionerna som ges i Månsson (2004), se Bilaga E.

3.3.1. Förberedelser

För att bestämma flödet av vatten i kretsen kördes pumparna och tiden togs för hur länge de var igång. Genom att notera ställningen på flödesmätarens räkneverk, kunde flödet beräknas och justeras till m³ per timme. Pumparna kördes i minst tre minuter.

Pannan askades ur inför varje nytt eldningstillfälle. Innan eldningen klövs späntved till tändningen. Ungefär två vedträn klövs i mindre bitar, cirka två till tre centimeter tjocka.

3.3.2. Utförande

Först ställdes ventilerna i anläggningen in så att röken passerade rökgaskondensorn. Fläkten i rökgaskanalen, pumpen till dysorna i skrubbern och fläkten i pannan startades därefter. Beräkningsprogrammet startades oftast innan tändning men nya filer skapades sedan under försökens gång, till exempel när temperaturen på vattnet i pannan började närma sig 80°C.

Späntveden placerades på botten i pannan och veden antändes med tre till fyra tidningssidor placerade över spalten mellan vedträna. Vissa gånger antändes späntveden istället med gasolbrännare under ett par minuter. När späntveden börjat brinna, petades den till så att den låg jämt i botten på pannan – även över spalten i botten. Därefter las resten av veden, väl travad, in i pannan.

När rökgastemperaturen nådde 100°C dirigerades rökgasen om via mätaren för syrgashalten. Då mätningen av stoft skedde före rökgaskondensorn kopplas inte mätaren för syrgashalten in. Syrgashalten angavs då istället statiskt i beräkningsprogrammet efter att ha uppskattats utifrån den syrgashalt som mätinstrumentet för kolmonoxidhalten gav. Då stoftmätning gjordes under upptändningsfasen angavs syrgashalten också statiskt i beräkningsprogrammet. Någon hänsyn till variationer i syrgashalten under dessa mätningar har inte tagits.

När stoftprovet skulle tas under tändningsfasen påbörjades inte mätningen förrän all ved lagts in. Proverna före rökgaskondensorn togs under cirka 20 minuter. Proven efter rökgaskondensorn togs under 35 till 40 minuter.

Kolmonoxidhalten mättes upp direkt i rökgaskanalen. Mätaren hölls i kanalen till dess att mätvärdena började stabilisera sig och avlästes då.

Kondensatprover togs vid en eldningscykel. Ett prov togs på det nya vatten som kondensattanken fylldes med, innan anläggningen togs i drift, och ett prov togs på vattnet i kondensattanken efter pannan brunnit ut.

3.3.3. Efterbehandlig

Filtren från stoftprovtagningen torkades enligt samma procedur som innan de vägdes in, se Bilaga E. Provgasflödet erhöles utifrån det flöde som gasuret mätt upp. Provgasflödet normaliserades till en bestämd koldioxidhalt genom att det uppmätta flödet multiplicerades med normaliseringsfaktorn (Gunnarsson, 2004):

$$NORM = \frac{\frac{V_{CO_2}}{V_{tot}} \times 100}{CO_2}$$

$NORM$ är normaliseringsfaktorn.

V_{CO_2} är volymen koldioxid, anges i volymenheter.

V_{tot} är den totala volymen rökgas, anges i volymenheter.

CO_2 är koldioxidhalten i rökgasen, anges i volymprocent.

Stofthalten per kubikmeter, vid normaliserad koldioxidhalt, fås genom att stofthalten divideras med den beräknade provtagningsvolymen. För att få stofthalten per normalkubikmeter normaliserades det sedan med avseende på temperaturen, trycket i rökgasen antas motsvara normalt lufttryck (Gunnarsson, 2004):

$$STOFT_{per\ m_n^3} = \frac{273,15}{T + 273,15} \times STOFT_{per\ m^3}$$

$STOFT_{per\ m_n^3}$ är stofthalten per normalkubikmeter, anges i mg per normalkubikmeter.

T är temperaturen i rökgasen, anges i °C.

$STOFT_{per\ m^3}$ är stofthalten per kubikmeter, anges i mg per kubikmeter.

Kondensatproverna skickas till SLU för analys.

3.4. Analyserna

3.4.1. Praktisk

Den praktiska analysen har genomförts med utgångspunkt från studerad litteratur och erhållna erfarenheter från arbetet med anläggningen.

3.4.2. Framtid

Framtidsanalysen har gjorts utifrån de diskussioner som råder på området idag. Översynen av den potentiella marknaden har sammanställts ur statistik från Energimyndigheten och Statistiska Centralbyrån.

3.4.3. Ekonomiskt

För att analysera kostnader och besparingar med anläggningen har informationen om kostnaden för anläggningen, samt troliga besparingar vid en serieproduktion, inhämtades från Erik Gunnarsson. Med hjälp av "lånekalkylen" på SEB:s hemsida (<http://swp2.vv.sebank.se/cgi-bin/pts3/pow/wcp/index.asp>, 2004-11-16) har kostnaden för ett eventuellt lån tagits fram. Kostnaderna jämförs mot eventuella besparingar i bränsle och arbetsinsatser. Beräkningarna grundas på en livslängd av 20 år hos anläggningen.

3.5. Förväntade resultat

Utfallet av denna studie förväntades bli att rökgaskondensorn skulle få ner stoftutsläppen till den nivå som krävs för eldning i tätort även vid eldning med fuktiga bränslen. Förhoppningen var att energibesparingen skulle bli så stor att det skulle visa sig vara ekonomiskt motiverat att installera rökgaskondensorer även i villor utanför tätorterna.

4. Resultat och observationer

4.1. Bränslet fukthalt

Den genomsnittliga fukthalten i ett vedträ uppskattades, se Figur 3.1 samt Tabell 4.1, till 25,5 viktprocent. Testerna genomfördes först på mindre bitar av olika vedträn för att ge en första uppskattning av hur stor fukthalten kunde tänkas vara. Fukthalten hos dessa har varit i samma storleksordning, se Tabell 4.2.

Tabell 4.1: *Genomsnittlig fukthalt i ett vedträ*

Bitens beteckning	Fukthalt [vikt- %]
a	29,97
b	24,41
c	24,37
d	24,34
e	24,56
Genomsnitt	25,53

Tabell 4.2: *Fukthalt hos enstaka bitar av olika vedträn*

Bitens beteckning	Fukthalt [vikt- %]
Torkat på pannan ca 10 timmar. Vedens diameter ca 10 cm. Provet tagit på halva längden av vedbiten. Barksidan	20,09
Torkat i pannrummet ca 10 timmar. Vedens diameter ca 10 cm. Provet tagit på halva längden av vedbiten. Kärnveds sidan.	21,18
Torkat i pannrummet ca 10 timmar. Vedens diameter ca 10 cm. Provet tagit på halva längden av vedbiten. Kärnveds sidan.	20,80
Torkat i pannrummet ca 10 timmar. Vedens diameter ca 10 cm. Provet tagit på halva längden av vedbiten. Barksidan, blöt.	34,28
Utomhustorkat. Vedens diameter ca 5 cm. Provet tagit på halva längden av vedbiten. Hela snittet, mest kärnved.	24,12

4.2. Testerna

4.2.1. Varierande effekt från pannan

Den beräknade effekten över pannan varierade med tiden. Detta grundar sig i att vattenflödet genom pannan, när ventilen öppnar, är för stort i förhållande till temperaturer och avgiven effekt. Effekten över pannan går upp när den temperaturstyrda ventilen öppnar och ner igen när ventilen stänger. Effekten över rökgaskondensorn är relativt konstant över tiden eftersom vattenflödet genom den har hållits konstant. Effekten över rökgaskondensorn varierar däremot med hur temperaturen på rökgaserna förändras och hur volymflödet av rökgaserna ändras. Någon hänsyn till temperatur och flöde av rökgaser har dock inte tagits i beräkningarna eller i de uppställda diagrammen nedan. Effekten över rökgaskondensorn varierar även med temperaturen på kylvattnet, vilket diskuteras i samband med Figur 4.3, Figur 4.4 och Figur 4.5.

4.2.2. Olika vattenflöden i kretsen

Flödet av vatten genom rökgaskondensorn har varierat mellan de olika testerna. Detta beror främst av att flödet har behövt kalibreras inför varje test. Eftersom pannan borde ha gett betydligt högre effekt än vad som erhöles användes ibland högre vattenflöden genom rökgaskondensorn för att det förväntat stora kylvattenbehovet till pannan skulle kunna tillgodose. Eftersom det stora kylvattenbehovet uteblev testades i andra försök även så låga flöden som möjligt med förhoppningen att uppnå en stabil effektleverans från pannan. Flödesmätaren kunde inte mäta upp så låga flöden varmed inget stabilt tillstånd kunde ses över pannan.

4.2.3. Tidsförskjutningar

Att effekten i Figur 4.5 ger sken av att stiga mycket direkt efter det att den varit negativ kan hänföras till förskjutning i vattensystemet. Det tar en viss tid för vattnet att ta sig från punkt A till punkt B men vid de mätningar som gjorts har mätvärden

från punkt A jämförts med mätvärden från punkt B vid exakt samma tidpunkt. Det vill säga ingen hänsyn har tagits till tidsförskjutningen.

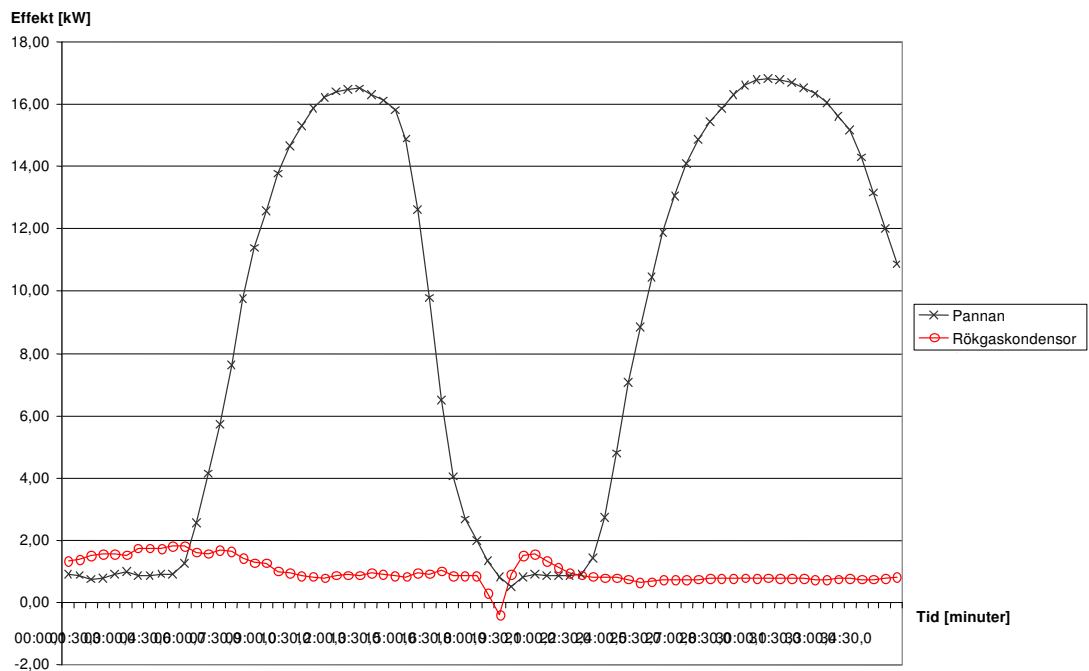
(Se även Bilaga C.) Om temperaturen på kylvattnet in i kretsen skulle ha varit konstant skulle tidsförskjutningen i systemet ha spelat mindre roll. Detta eftersom beräkningarna av effekten över rökgaskondensorn då ändå skulle ha haft rätt temperaturdifferens att utgå ifrån. Eftersom temperaturen på kylvattnet i försöken ovan inte varit konstant borde hänsyn ha tagits till tidsförskjutningen i systemet. Detta skulle ha kunnat göras genom att, på samma sätt som tidigare, jämföra temperaturen på kylvattnet som kommer in i rökgaskondensorn ("punkt A") med temperaturen på vattnet som lämnar rökgaskondensorn ("punkt B"). För att ta hänsyn till tidsförskjutningen skulle temperaturer från punkt A vid en viss tidpunkt inte jämföras med temperaturer från punkt B vid samma tidpunkt utan med temperaturer från punkt B ett visst antal tidsenheter senare. Antalet tidsenheter bestäms av hur lång tid det tar för vattnet att passera från punkt A till punkt B. Genom att ta hänsyn till tidsförskjutningen i vattensystemet på detta sätt mäts temperaturdifferensen för en begränsad vattenmängd och därmed kan energiupptaget och effektutbytet beräknas för just denna vattenmängd.

Eftersom temperaturen på kylvattnet in till rökgaskondensorn har varierat (i början av eldningscykeln rätt stadigt stigande och sedan lite varierande fram och tillbaka) blir den uppmätta temperaturdifferensen och den beräknade effekten något missvisande. När det inkommande kylvattnet till rökgaskondensorn har haft en så hög temperatur att det är kylvattnet som har kylts av i rökgaskondensorn och inte rökgasen har temperaturdifferensen och energiupptaget blivit negativt. Eftersom ingen hänsyn tagits till tidsförskjutningen i systemet ger mätvärdena vid dessa höga kylvattentemperaturer för kraftiga utslag i effektberäkningarna.

Det som händer är att först blir den negativa effekten för negativ eftersom temperaturen i punkt B mäts på vatten som när det passerat rökgaskondensorn varit så pass kallt att det kunnat ta upp energi från rökgasen. Vattnet i punkt A däremot har en så pass hög temperatur att det så småningom kommer att avge energi i rökgaskondensorn. Enligt termodynamikens andra lag kan värme bara överföras från en varmare kropp till en kallare. Om temperatur och flöde hos rökgasen antas vara konstant medför detta att temperaturen på kylvattnet som har värmts upp i rökgaskondensorn har en lägre temperatur än det vatten som har kylts av vid sin passage genom rökgaskondensorn. Utifrån detta resonemang inses att den negativa utslaget i effektberäkningarna kommer att bli för stort. Omvänt gäller när det vatten som avgett energi i rökgaskondensorn passerar punkt B och temperaturen på det inkommande kylvattnet åter har sjunkit till en temperatur som möjliggör energiupptag i rökgaskondensorn. Den beräknade effekten blir här överdrivet positiv.

När kylvattentemperaturen är stadigt stigande kommer den uppmätta temperaturdifferensen vara något mindre än den verkliga eftersom vattnet i punkt B hade en lägre temperatur när det passerade punkt A än den temperatur som uppmäts i punkt A vid tidpunkten då vattnet passerar punkt B.

4.2.4. Resultat av temperaturmätningar och effektberäkningar

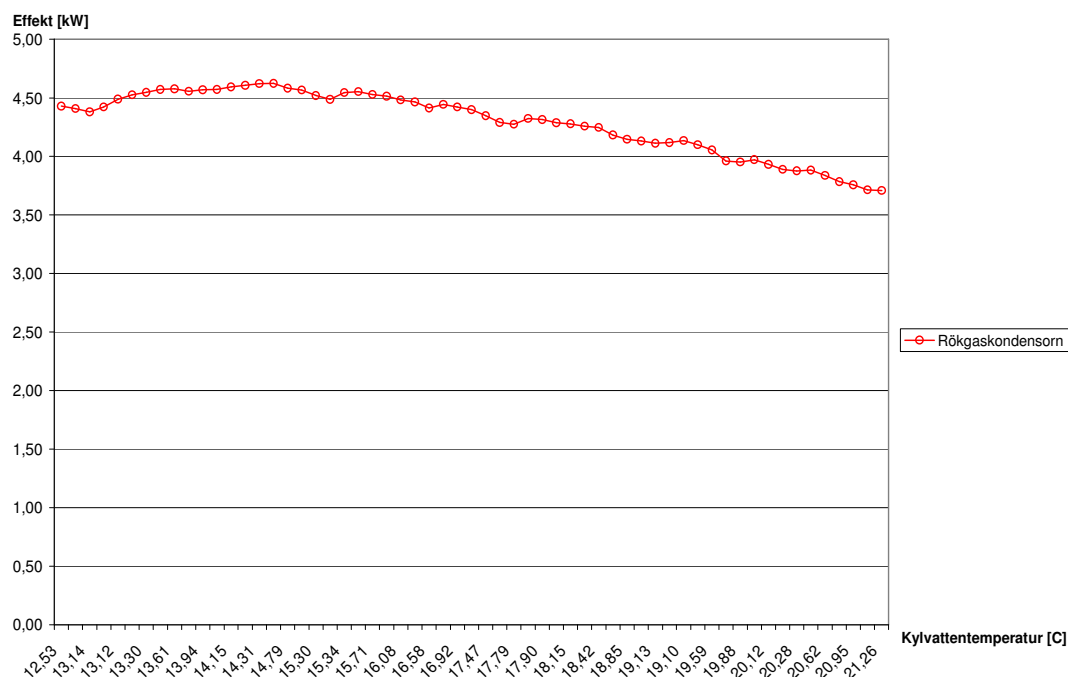


Figur 4.1: Effekt över panna och rökgaskondensor, förändringar över tiden

Från mätningar 2004-10-26. Flödet av vatten genom rökgaskondensorn uppmättes till 0,75 m³ per timme. Temperaturen på det avgivna vattnet från rökgaskondensorn varierade mellan 29,8°C och 40,3°C.

Första slutsatsen som kan dras utifrån resultaten från mätningarna är att vi inte kan elda i pannan på ett tillfredsställande sätt än. Effekten borde ha varit någotsånär konstant när pannan väl kommit upp i temperatur. Effekten borde dessutom ha legat betydligt närmare 30 kW under denna period. Det kan dock konstateras att effekten över rökgaskondensorn är relativt konstant över tiden. Eftersom vattenflödet genom rökgaskondensorn har hållits konstant kan energi tas ut från den så snart det finns någon energi att återvinna, det vill säga när det finns en temperaturdifferens att utnyttja.

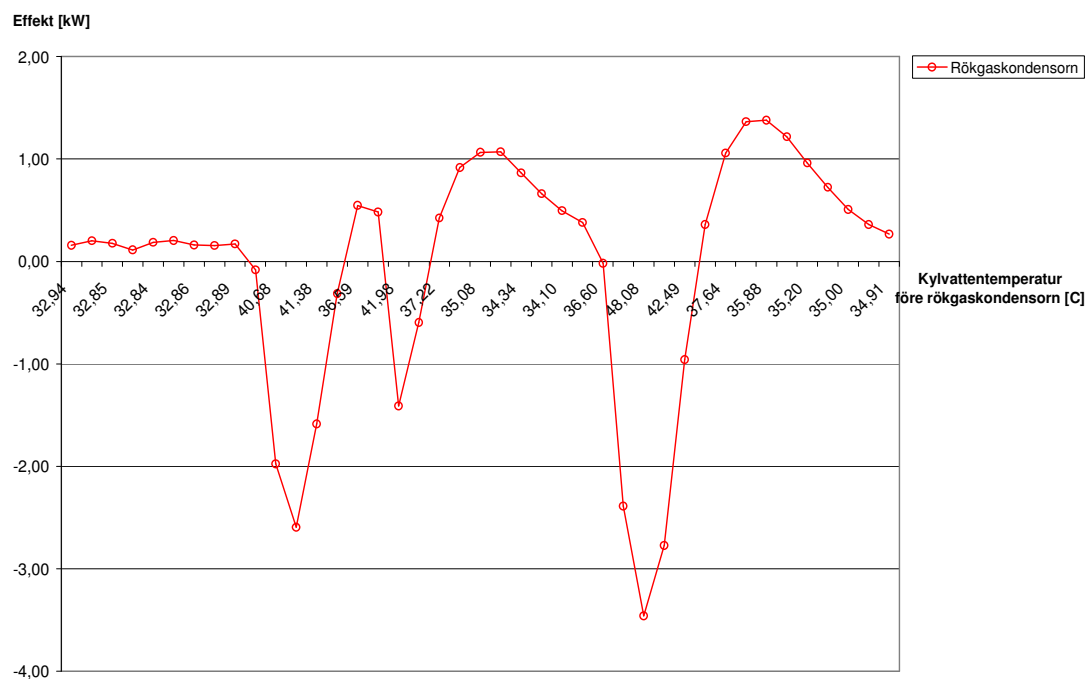
Effektuttaget från rökgaskondensorn beror av kylvattentemperaturen. För att få ett gynnsamt energiuttag måste kylvattentemperaturen hållas nere.



Figur 4.2: Effekt över rökgaskondensorn, variationer över tiden i förhållande till kylvattentemperaturen

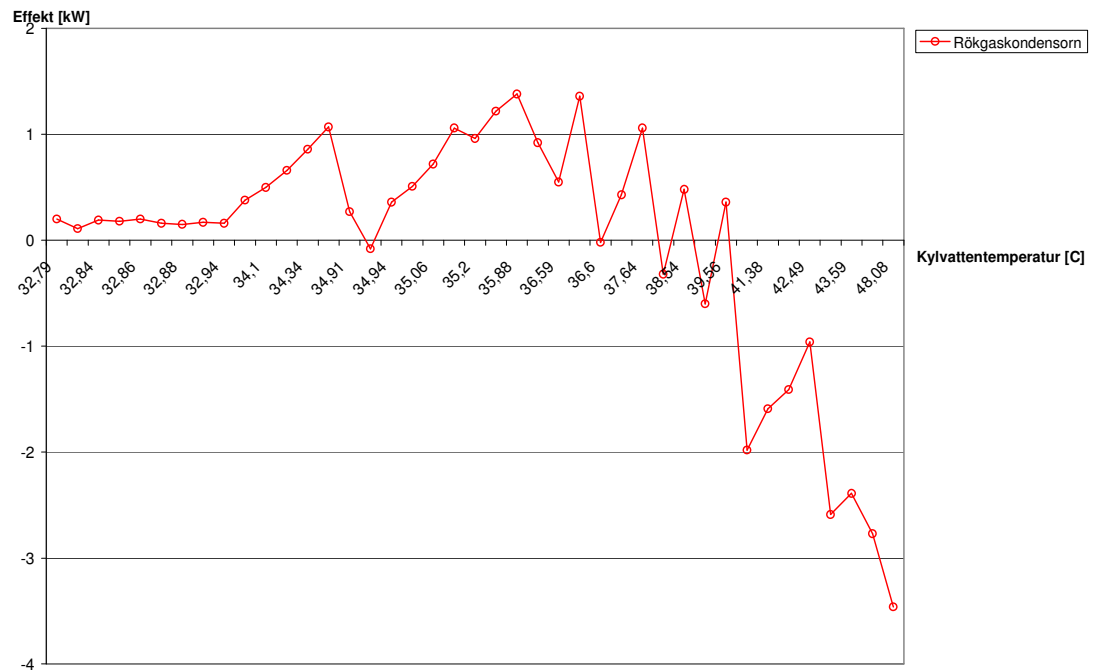
Från mätningar 2004-10-30. Flödet av vatten genom rökgaskondensorn uppmättes till 0,25 m³ per timme. På x-axeln anges hur temperaturen förändrades över tiden. Temperaturen på det avgivna vattnet från rökgaskondensorn varierade mellan 27,9°C och 34,3°C.

När kylvattentemperaturen höjs från 12°C till 21°C minskas effektuttaget visserligen med över 15 % men hålls fortfarande på en rätt hög nivå. I Figur 4.1 varierade kylvattentemperaturen in till rökgaskondensorn mellan 28,3°C och 39,4°C och effekten var då knappt 2 kW som mest. Vid den högsta temperaturen var effektuttaget från rökgaskondensorn bara 0,82 kW. Om kylvattentemperaturen höjs ytterligare blir den uppmätta effekten till slut negativ. I Figur 4.2 och Figur 4.3 visas hur effekten varierade över tiden. På x-axeln anges hur temperaturen på kylvattnet varierade under samma period.



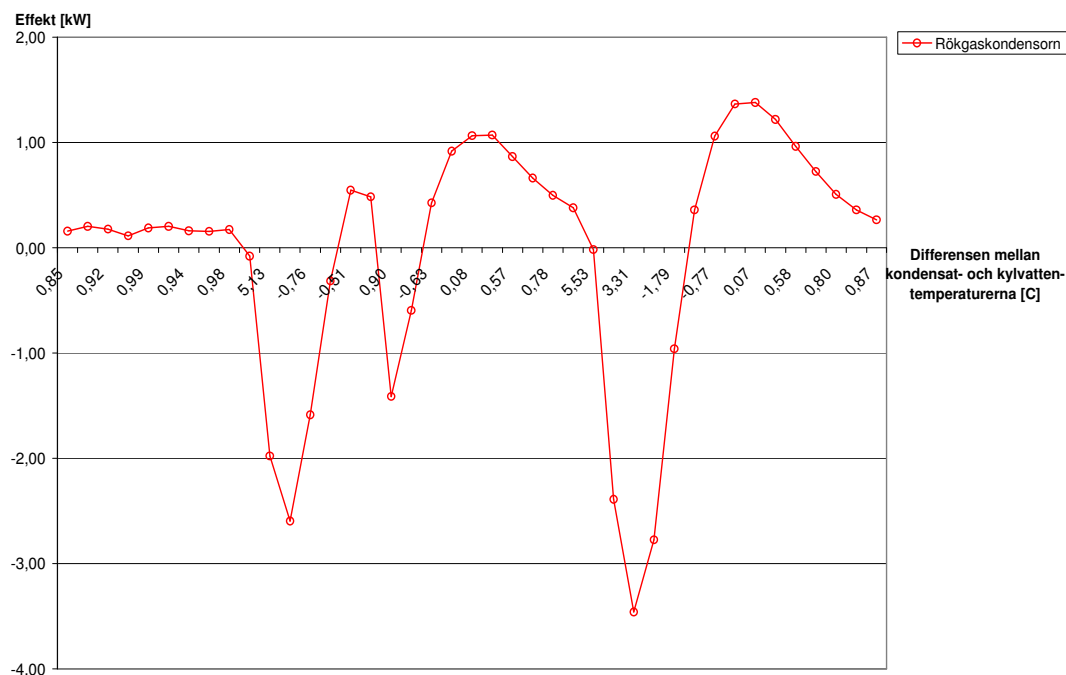
Figur 4.3: Effekt över rökgaskondensorn, variationer över tiden i förhållande till kylvattentemperaturen

Från mätningar 2004-10-27. Flödet av vatten genom rökgaskondensorn uppmättes till 0,30 m³ per timme. På x-axeln anges hur temperaturen förändrades över tiden, totalt 20 minuter. Temperaturen på det avgivna vattnet från rökgaskondensorn varierade mellan 33,22°C och 41,29°C.



Figur 4.4: Effekt över rökgaskondensorn som funktion av kylvattentemperaturen
Samma datamängd som i figuren ovan.

När kylvattentemperaturen stiger upp emot 40°C blir den beräknade effekten från rökgaskondensorn negativ. Detta trots att rökgastemperaturen är hög. Om effekten studeras i förhållande till både temperaturen på kylvattnet och temperaturen på kondensatet så konstateras att effekten dyker omkring då kylvattentemperaturen överstiger kondensattemperaturen.



Figur 4.5: Effekt över rökgaskondensorn, variationer över tiden i förhållande till temperaturdifferensen mellan kondensat och kylvatten
 Samma datamängd som Figur 4.3 ovan. När kylvattentemperaturen överstiger temperaturen på vattnet i kondensattanken blir differensen negativ. På x-axeln anges hur temperaturdifferensen förändrades över tiden.

4.3. Energiutbyte

Det energiutbyte som erhöles från testerna kan inte representativt användas direkt eftersom förbränningen i pannan inte skett på ett tillfredsställande sätt. Den panna som undersökts har en märkeffekt på 30 kW men gav under försöken inte mer än maximalt 16 kW. Pannan gav inte ens detta kontinuerligt utan ventilen stängdes emellanåt, det vill säga den verkliga panneffekten är ännu lägre än de uppmätta 16 kW. Om energiutbytet beräknas utifrån dessa blir resultatet inte representativt.

Vid 4,5 kW, som rökgaskondensorn gav vid låg returtemperatur på kylvattnet, skulle rökgaskondensorn stå för drygt 20 % av den totala uppvärmningen av vattnet. Om pannan skulle ge de 30 kW den är konstruerad för och om rökgaskondensorn fortfarande antas avge 4,5 kW, som uppmättes vid testerna, skulle rökgaskondensorn kunna stå för mer realistiska 13 %. När temperaturen på vattnet in till rökgaskondensorn varit hög, över 30°C, har den beräknade effekten endast varit ungefär 1 kW. Vid en panneffekt på 30 kW blir energiutbytet endast 3 %, under den tid pannan avger någon effekt. Vid 16 kW panneffekt blir utbytet istället 6 % (se Tabell 4.3).

Tabell 4.3: Rök-gaskondensorns bidrag till det totala energibehovet
Beroende på vilken effekt som pannan ger blir bidraget från rök-gaskondensorn olika, även om den levererade effekten från denna är lika

		Rök-gaskondensorns effekt			
		1	4,5	5	7
Panneffekt	16	5,9 %	22,0 %	23,8 %	30,4 %
	25	3,8 %	15,3 %	16,7 %	21,9 %
	30	3,2 %	13,0 %	14,3 %	18,9 %

Det är mycket troligt att halten av oförbränt i rök-gasen samt rök-gasflödet i sig ändras om pannan ger 30 kW effekt istället för de 16 kW som uppmättes. Detta kan medföra att effekten över rök-gaskondensorn också ändras. Några förändringar av rök-gaskondensorns effekt i relation till panneffekten har inte kunnat fastställas. Vid den studie som utfördes vid TPS (Fredriksson, Ramström & Berge, 2002) beräknas en rök-gaskondensorn kunna ge mellan 3,3 kW och 7,4 kW, beroende på utformning, när den kopplas till en panna på 30 kW. Den högre effekten erhöles vid räfflade kanaler och med spraytillsatts medan den lägre erhöles vid slät rök-gaskondensorn utan tillsatts av spray. Den anläggning som testats i detta projekt motsvarar närmast släta kanaler med spraytillsatts och därmed förväntas effekten ligga mellan de båda angivna värdena, vilket den också gör. Förutsatt att en låg temperatur används på kylvattnet in till rök-gaskondensorn.

Om en villa antas ha ett uppvärmnings- och tappvarmvattenbehov av 20 000 kWh per år³ skulle 2 600 kWh av dessa kunna tillgodoses av rök-gaskondensorn, om pannan är på 30 kW och rök-gaskondensorn antas bidra med 4,5 kW. Om rök-gaskondensorn istället förväntas bidra med 1 kW tillgodoses endast 640 kWh med energi från rök-gaskondensorn.

4.4. Rök-gasrening

4.4.1. Stoftprovtagning

De mätningar som gjorts för att jämföra stoftmängd före och efter rök-gaskondensorn ger resultat som indikerar att stofthalterna skulle öka efter rök-gaskondensorn. Studeras kondensatet och rök-gaserna som lämnar skorstenen så inses snart att så inte är fallet. Det som troligen skett är att natrium och kalium som följer med rök-gaserna bildar salter i kondensatet. Detta är en slutsats som även dras i Fredriksson, Ramström & Berge (2002). Det grovmaskiga filter som sitter mellan kondensattank och dysor är till för att avskilja stoft och andra partiklar och inte avsett för att avskilja salter. När kondensatet sedan sprutas in via dysorna över rök-gasen följer därför salterna med. Salterna fortsätter med rök-gasen och fastnar sedan på filtren. På filter från provtagningar före rök-gaskondensorn finns därför inget salt medan dessa påträffas på filtren från provtagningar efter rök-gaskondensorn.

När torkning sker i torkskåp och exikator avges fukten från filtren. Eftersom salterna lätt binder vatten återbinds vatten dock snabbt till filtren när dessa kommer

³ Det typhus som används i Krögerström (2002).

i kontakt med luften. Vatten återbinds också till filtren från provtagningar före rökgaskondensorn men inte i lika fort. Eftersom vägningen av filtren inte genomförts i en omgivning fri från vatten utan i vanlig rumsluft hinner filtren troligen återbinda tillräckligt stora mängder vatten för att ge ett signifikant utslag på resultaten.

En annan orsak skulle kunna vara att stoftprover endast kunnat tas antingen före eller efter rökgaskondensorn, aldrig båda samtidigt, eftersom endast en mätutrustning använts. Det har varit svårare att undvika läckageflöden från provtagningsuttaget före rökgaskondensorn än efter. Detta medför att det provgasflöde som erhållits före rökgaskondensorn kan ha varit utspädd med luft till en större grad än för de prover som tagits efter rökgaskondensorn.

4.4.2. Analys av kondensatet

Utifrån de mätningar på kondensatet som gjordes vid SLU kan konstateras att förbränningen varit allt annat än fullständig. Detta verifieras även av de stoftprover som togs före rökgaskondensorn, vilka gav stofthalter på mellan 100 och 200 mg/m³ vid normalisering till 10 % koldioxidhalt. (Eventuellt skulle dessa värden vara ännu högre om det är så att provgasflödet har späddes ut med ytterligare luft än vad som indikerats av de syrgashalter som uppmätts före provtagningsuttaget.)

Kondensatet har efter en eldningscykel uppvisat ett pH-värde på strax över 4. Via den syra- basititrering som utfördes vid SLU visade syrorna sig vara kolsyra och myrsyra, se Bilaga D. Kolsyran härstammar från koldioxid i rökgasen medan myrsyran härstammar från kolmonoxid. Med mätaren för bestämning av kolmonoxidhalten, testo 300, påvisades att såväl halten kolmonoxid som halten koldioxid var lägre efter rökgaskondensorn än före, vilket överensstämde med de påvisade syrorna i kondensatet. När förändringen av syrgashalten före och efter rökgaskondensorn studerades visade det sig att rökgasen efter rökgaskondensorn innehöll betydligt mer syre än rökgasen före densamma. Resultaten från mätningarna med testo 300 fick därmed förkastas. De påvisade reduktionerna eliminerades nämligen när mätresultaten anpassades till den större syrehalten efter rökgaskondensorn.

Utöver syra- basititreringen studerades vid SLU även masspektromet över kondensatinnehållet för att se vilka organiska föreningar som förekommer i kondensatet. Resultatet visar att det framförallt är terpen (tjäreämnen) som förekommer i kondensatet (Seisenbaeva, 2004).

4.5. Observationer

4.5.1. Tjäremlukt

Den första mest påtagliga bieffekten när rökgaskondensorn körs är den tjäremlukt som sprider sig. För att minska detta lades ett provisoriskt lock över kondensattanken. Vid utveckling av anläggningen bör någon form av lock anpassas till tanken.

4.5.2. Sotning

Det är möjligt att behovet av sotning efter rökgaskondensorn blir lågt till följd av den rening som sker i anläggningen, detta har dock inte studerats närmare. Vad gäller rökgaskanalen före anläggningen har mycket oförbränt observerats vid uttaget för stoftprovtagningen. Rökgaskanalen är där horisontell vilket kan ha bidragit till avlagringen. För att undvika att extra sotning ska bli nödvändig mellan panna och rökgaskondensor finns minst två möjliga alternativ: Antingen placeras rökgaskondensorn i eller så nära pannan som möjligt, för att kolvätena inte ska hinna avlagras i rökgaskanalen utan samlas i kondensattanken, eller så förbättras förbränningen i pannan så att halten oförbränt inte är så stor. Om temperaturen från pannan höjs blir förhoppningsvis draget genom rökgaskanalen också bättre.

4.5.3. Lite energi från pannan

Under försöken tog det nästan en och en halv timme innan pannan kunde dela med sig av någon energi, kylvattnet in i pannan var cirka 30°C. Rökgaskondensorn däremot gick snabbt upp till sin maximala effekt och vid riktigt låg temperatur, cirka 12°C, kunde den efter bara 30 minuter ge en effekt på 4 kW.

När kort björkved användes övertändes veden snabbt i pannan. Förbränningen var i detta fall bättre och temperaturen på rökgaserna var högre. Energiinnehållet i rötskadad granved är lägre än i vältorkad björkved, något som kan vara en förklaring till skillnaden i förbränningsförloppen.

Efter avslutade tester och analyser konstaterades att turbulatorerna i pannan sotat igen. Turbulatorerna sitter efter sekundärförbränningszonen och deras uppgift är att sätta rökgasen i rörelse så att värmen avges mer effektivt till vattnet i pannan. Det är troligt att dessa varit kraftigt igensatta även under försöken något som kan ha påverkat pannans effektivitet i väsentlig grad.

4.6. Diskussion kring mätningar och resultat

4.6.1. Öväntat låg panneffekt

Den oväntat låga panneffekten har jag antagit beror på att förutsättningarna inte varit optimala för förbränning. I första hand var inte veden den bästa och det är troligt att ett lågt energivärde hos veden bidragit till den dåliga förbränningen och den låga effekten från pannan. Någon analys över hur stort energivärdet verkligen varit har tyvärr inte genomförts.

Om förbränningstemperaturen är för låg och uppehållstiden i sekundärförbränningszonen för kort försämrar förbränningen. Eftersom kylvattentemperaturen in till pannan oftast legat under 40°C är en trolig orsak till den låga panneffekten för låg förbränningstemperatur. I instruktionerna till pannan anges att pannan inte bör tändas förrän temperaturen sjunkit till 40-50°C, för att undvika att elda så ofta. De tester som Teknologisk Institut (<http://www.baxi.se/>, 2004-08-23) utfört på pannan gjordes vid kylvattentemperaturer på ungefär 60°C och i

Gustavsson (2003) anges att temperaturer under 70°C inte bör användas på kylvattnet om förbränningen inte ska försämrats.

”Erfarenhetsmässigt visste man [vid TPS] att de parametrar som har störst inverkan på vekningsgraden [över rökgaskondensorn] är rökgastemperatur och luftöverskott. Normalt ligger syrehalten på 9-10 % i rökgasen från en vedeldad panna, om inte kontinuerlig styrning av lufttillförseln finns. Enligt beräkningarna är vedens fuktighet den faktor som har störst inverkan näst efter dessa två.” (Gustavsson, 2003)

För att kunna upprätthålla en god förbränning, det vill säga minst 800°C i den primära förbränningszonen, bör luftfaktorn inte överstiga tre. (I de försök som genomförts i detta projekt låg luftfaktorn ofta mellan tre och fyra.) Kolmonoxid och kolväten förångas redan vid 350°C men kolmonoxiden antänds till exempel inte förrän vid 850°C. (Gustavsson m.fl., 1993)

Om ett fuktigt bränsle används föreligger en risk att det går åt så mycket energi att förångas fukten i bränslet att temperaturen i pannan inte blir tillräckligt hög och att panneffekten därmed blir låg. Det är möjligt att en potentiell effekttökning över rökgaskondensorn till följd av ett fuktigt bränsle kommer att ”ätas upp”, och mer där till, av en sänkt panneffekt. Under testerna vid Teknologisk Institut har fukthalten hos granbränslet varit knappt 16 %, den högre fukthalten på 25,5 % som bränslet i denna studie haft kan ha bidragit till att sänka förbränningstemperaturen. En annan trolig orsak till det dåliga effektuttaget kan vara igensatta turbulatorer i pannan, något som detekterades först i arbetets absoluta slutfas och därför inte har analyserats vidare.

4.6.2. Högre kylvattentemperatur än kondensattemperatur

Den negativa effekten över rökgaskondensorn som erhålls då kylvattentemperaturen överstiger kondensattemperaturen antyder att kylvattnet vid dessa tillfällen värmer på rökgaserna i värmeväxlarsteget. Temperaturen på rökgasen efter skrubbersteget har inte mätts upp men borde rimligen ligga i närheten av temperaturen på kondensatet eftersom det kondensatvatten som inte förångas i skrubbersteget tar upp energi från rökgasen. Om temperaturen på kylvattnet överstiger temperaturen på rökgasen efter skrubbersteget avges värme till rökgasen istället för tvärtom.

4.6.3. Tidsförskjutningar

Resultaten från Figur 4.3 och Figur 4.5 går inte att binda direkt till variationer i temperatur respektive temperaturdifferens. Anledningen till detta har inte studerats närmare i denna rapport men en trolig orsak är de tidsförskjutningar som uppstår i vattensystemet. Eventuella tidsförskjutningar kan få stor genomslagskraft i resultaten eftersom de effektberäkningar som gjorts på sätt och vis bara bygger på temperaturskillnaden.

En tidsförskjutning påverkar även resultaten då kylvattentemperaturen inte överstiger rökgastemperaturen. I de flesta försök har temperaturen på kylvattnet in till rökgaskondensorn långsamt stigit. Temperaturen på kylvattnet ut ur rökgaskondensorn stiger också men inte lika snabbt. Om hänsyn skulle tas till tidsförskjutningen är det möjligt att den mängd energi som vattnet tar upp egentligen är något större och att effekten därmed också skulle vara något högre än den som beräknats.

4.6.4. Minskad nivå i kondensattanken

Då kylvattnet värmer på rökgaserna, se Figur 4.3, kommer också kondensatflödet att bli negativt med en minskad vattennivå i kondensattanken som följd. Detta eftersom vatten åtgår för att mätta rökgaserna men inget vatten återfås vid den uteblivna kondenseringen.

4.6.5. Bättre förbränning kan ge högre effektuttag

Vid gynnsamma fall uppgår effekten från rökgaskondensorn till 4,5 kW, se Figur 4.2. Eftersom effekten över pannan varit låg och förbränningen varit långt ifrån fullständig är det möjligt att en bättre förbränning inte bara skulle generera en högre effekt över pannan utan även över rökgaskondensorn. Detta eftersom energin som är möjlig att utvinna ur rökgaserna ökar om det totala rökgasflödet ökar, speciellt om temperaturen också ökar. Om rökgaskondensorn antas kunna ge 5 kW och pannan antas ge 25 kW vid verkliga förhållanden skulle rökgaskondensorn bidra med 17 % av energibehovet, se Tabell 4.3. 17 % av 20 000 kWh motsvarar 3 400 kWh. De försök som har gjorts har oftast givit effekter på kring 1 kW. Detta beror på ogynnsamma förhållanden men är det resultat som erhållits.

4.6.6. Energiutbytet större än beräknat

Energiutbytet har bara beräknats utifrån hur effekterna vid fullast förväntas förhålla sig till varandra. Eftersom rökgaskondensorn kan avge effekt så snart det finns någon effekt att utnyttja, medan pannan inte avger någon effekt alls förrän temperaturen nått 80°C, är energiutbytet större än det som beräknats under avsnitt 4.3 ovan. (Detta eftersom rökgaskondensorn levererar värme även under uppstarten.) Hur rökgaskondensorn kopplas in till det övriga systemet kommer att påverka möjligheten att få ut någon energi från den innan pannan nått sin arbetstemperatur.

4.6.7. Inkoppling av rökgaskondensorn

I den experimentuppställning som använts i detta försök har rökgaskondensorn varit kopplad direkt till ackumulatorn och en del av flödet har letts via pannan. Eftersom effekten över pannan har varit låg har denna koppling lett till att temperaturen på vattnet till ackumulatorn tidvis varit betydligt lägre än de 80°C som pannan ger. Slutsatsen blir att det kan vara olämpligt med denna koppling i verkligheten. Detta dels på grund av variationen i temperatur och dels på grund av att temperaturen inte håller de önskade 80°C. Temperaturvariationen leder till oönskad omblandning i ackumulatortanken, den cirkulation som uppstår på grund av

temperaturgradienterna, men även en antydning av skiktning med omväxlande kallare och varmare partier i ackumulatortanken kan tänkas vara orsakad av detta.

Om pannan i försöken skulle ha gett 30 kW borde det ha varit möjligt att använda denna koppling eftersom pannan då skulle behöva använda hela vattenflödet för att avsätta värmeeffekten. I så fall skulle temperaturen in till ackumulatortanken ha varit konstant 80°C, utom under tändningsfasen då vattnet från rökgaskondensorn går direkt till ackumulatortanken. Den växlande temperaturen på vattnet skulle undvikas. Det första vattnet som kommer direkt ifrån rökgaskondensorn skulle dock skapa ett skikt i ackumulatortanken som vore varmare än botten temperaturen i tanken men kallare än de 80°C som sedan kommer från pannan.

Om rökgaskondensorn kopplas till samma krets som panna kan det vara olämpligt att eftersträva den låga kylvattentemperatur som ger den högre effekten. Som anges i avsnitt 4.6.1 och 4.6.2 är det möjligt att en låg temperatur på vattnet in till pannan försämrar pannans verkningsgrad. De tester som genomförts visar på att om temperaturen på vattnet in till rökgaskondensorn ligger kring 12°C så är temperaturen ut ur rökgaskondensorn bara ungefär 30°C. Det är möjligt att temperaturen in till pannan borde vara minst cirka 50°C för att uppnå en tillfredsställande förbränning.

Om rökgaskondensorn istället kopplas in i serie med pannan så kommer vattnet att stå still i rökgaskondensorn tills pannan börjar avge värme till ackumulatortanken. Detta medför att temperaturen på vattnet i rökgaskondensorn stiger. Troligen till en temperatur högre än dagtemperaturen vilket skulle kunna leda till minskad vattenmängd i kondensstanken. Reningen kommer troligen att bli sämre med förhöjd temperatur men det är oklart hur mycket eftersom detta inte har studerats. Problemet med att det eventuellt är olämpligt att försöka upprätthålla en botten temperatur på 10-20°C för att tillgodose behovet av kallt kylvatten genom rökgaskondensorn, kvarstår.

Som föreslås i TPS studie skulle rökgaskondensorn kunna kopplas till förvärmning av tappvarmvattnet eller mot en krets för golvvärme. Idealt vore en kombination av dessa för att kunna utnyttja sommarens enda värmesänka, tappvarmvattnet, men även kunna utnyttja rökgaskondensorns fulla potential vintertid. Vintertid ökar det möjliga energiuttaget från rökgaskondensorn medan tappvarmvattenbehovet är tämligen konstant. Om golvvärmen kan utnyttjas som värmesänka finns möjlighet för avsättning för den extra värmen, vid låg temperatur. Eftersom golvvärmen kommer rumsvärmen tillgodo så fyller rökgaskondensorn därmed upp ett behov som värmebehovet från pannan kan minskas med. (Fredriksson, Ramström & Berge, 2002)

4.6.8. Emissions reduktioner

I små kommersiella anläggningar har stofthalter på 100-350 mg/m³ mätts upp efter cyklon eller multicyklon (Naturvårdsverket, 1993). I detta perspektiv kan det ifrågasättas att uppmätta stofthalter i detta arbete bara uppgår till 100-200 mg/m³, 10 % CO₂. En orsak skulle kunna vara att det verkliga rökgasflödet är mycket lågt

och att det uppmätta rökgasflödet till en större del består av luft från det förmodade läckaget kring sondröret.

Någon slutsats om hur mycket koloxid som löses i vattnet kan inte dras av den enda analys som gjordes på kondensatet. Att reduktionen förekommer är dock tydligt. Eftersom pH-värdet sänktes så markant efter bara en eldningscykel kan tänkas att mättnad av syran kommer att inträda tidigt, varmed ingen ytterligare kolmonoxid kommer lösa sig i kondensatet. En positiv effekt av att kondensatet fått ett lågt pH-värde är att risken för att rökgaskondensorn ska drabbas av kalkbeläggningar är liten. Några slutsatser om hur mycket kolväten som tvättas ut kan inte heller dras.

5. Resultat av analysen

5.1. Praktisk

Testerna visar att förbränningen inte är den bästa. Det är dock troligt att så är fallet även hos andra villaägare. Detta framförallt eftersom eldningen troligen är lågt prioriterad av eldaren (Gustavsson m.fl., 1993). Om det är så, men att eldaren antas utföra det underhåll som rökgaskondensorn kräver, skulle nyttan av en rökgaskondensor vara större. Totalt vore det dock bättre om eldningen i sig istället blev bättre. Om eldaren redan prioriterar arbetet lågt kan det diskuteras om eldaren är beredd att lägga ner det extra arbete som krävs för att sköta rökgaskondensorn. Arbetet för bränslehanteringen minskar däremot och det tillkommande arbete som förväntas av eldaren borde inte bli så stort: Byte av vatten i kondensattanken, rengöring av filter samt ibland rengöring av rören i rökgaskondensorn. När testerna utfördes behövde pumpen till sprayvattnet slås av och på manuellt men i och med en eventuell kommersialisering är det lämpligt att sköta detta per automatik.

5.1.1. Kondensatet

Om det antas att kondensatet kan släppas direkt till avloppet behöver det inte ta mer än ett par minuter att rengöra tanken och fylla på med nytt vatten.

För att rena kondensatet ytterligare, utöver de filter i metall som använts i försöken hittills, planerar Gunnarsson att konstruera filterkassetter med specialbehandlad torv i. Torven har vid andra tillämpningar visat sig kunna absorbera kolväten på ett bra sätt, något som Gunnarsson hoppas kunna dra fördel av. Huruvida kondensatet kan släppas direkt till avloppet eller ej bör studeras närmare i samband med att möjligheten till att använda dessa filterkassetter studeras. Byte av filterkassetter ska kunna göras i samband med bytet av kondensatvatten. Kassetterna bör vara lätta och snabba att byta och den använda torven ska förhoppningsvis kunna eldas i pannan. Tiden för kassettbodytet förväntas inte heller ta mer än ett par minuter. För att kunna göra en fullständig uppskattning av den tid som kommer att gå åt extra för att sköta rökgaskondensorn krävs längre studier än de som genomförts inom detta projekt.

5.1.2. Vedhantering

I Liss & Swanström (1984) har tidsåtgången för vedhantering uppskattats. Tidsåtgången för hantering av halvmetersved, vilket det varit frågan om i detta projekt, uppges vara 70-95 minuter per MWh. Till detta kommer tid för bränsleanskaffning, det vill säga hämtning, sågning och klyvning av veden alternativt inköp och transport av färdig ved. För ett hushåll med 20 000 kWh i värme- och tappvarmvattenbehov skulle det krävas en arbetsinsats på mellan 23 och 32 timmar per år, i medeltal 27 timmar och 30 minuter. Det anges att driftstörningar inträffar ungefär en gång på 70 driftdygn samt att störningarna i genomsnitt tar 30 minuter att åtgärda. Om ett år antas ha 280 driftsdygn blir det fyra störningar per år och totalt två timmar för att åtgärda dessa. Den totala arbetstiden blir i medel därmed 31 timmar och 30 minuter per år.

Om energin från en rökgaskondensor kan tillgodogöras huset i likvärdig form som från pannan skulle arbetsinsatserna sjunka proportionellt med den extra energin. Även tiden för åtgärdande av störningar skulle minska proportionellt, per år sett, eftersom störningarna är räknade per driftdygn. Om rökgaskondensorn antas ge 13 % av det totala energibehovet för tappvarmvatten och uppvärmning blir tidsbesparingen per år fyra timmar och sex minuter. Till detta kommer tidsbesparingar för arbetet vid bränsleanskaffning.

Tidsåtgången för bränsleanskaffningen varierar beroende på om eldaren köper veden färdig, kluven och torr, eller om veden hämtas i skogen, kapas, klyvs och lagras av eldaren själv. Om det tar eldaren sju dagar (Krögerström, 2002), antaget åtta timmar per dag, att kapa och klyva veden själv blir den totala tiden för arbetet med veden 87 timmar och 30 minuter per år. Med 13 % från en rökgaskondensor skulle detta arbete kunna minskas med nästan en hel dag (sju timmar och 17 minuter). Den totala arbetsbesparingen blir då elva timmar och 23 minuter per år.

Behovet av utrymme minskar också. En kubikmeter väl travad ved innehåller runt 1 300 kWh vilket innebär ungefär 1 000 kWh i energi till hushållet (Krögerström, 1993), detta motsvarar en totalverkningsgrad på ungefär 77 %. För 20 000 kWh krävs alltså utrymme för 20 m³ ved. Den volymen kan minskas med 2,6 m³ om rökgaskondensorn står för 13 %.

5.1.3. Rengöring av anläggningen

För att säkerställa att rören i rökgaskondensorn verkligen rengörs med jämna mellanrum bör anläggningen konstrueras så att rengöringen underlättas så mycket som möjligt.

Det låga pH-värdet minskar risken för kalkstenbildning i rökgaskondensorn och att rökgaserna tvättas i skrubbersteget borde minska risken för avlagringar av kolväten. Även själva uppfuktningen av rökgasen kan tänkas bidra till minskad risk för igensättning, enligt de observationer som gjordes vid TPS (Fredriksson, Ramström & Berge, 2002).

Det föreligger en viss risk för igensättning av dysorna eftersom kondensatvattnet används. Risk för skador på fläkten i skorstenen till följd av den höga fuktigheten föreligger också.

5.1.4. Syrakorrosion

I samband med rök-gaskondensering diskuteras ofta risken för syrakorrosion. Anläggningen är tillverkad helt i syrafast stål, SS 2343. Detta borde vara fullt tillräckligt enligt Goldschmidt & Nordling (2003). Det är dock möjligt att materialet är bättre än vad som är nödvändigt i detta fall. SS 2343 är inte speciellt beständigt mot svavelsyra och inte alls beständig vad det gäller saltsyra den är dock något mer beständigt mot dessa än vad SS 2333 är (Goldschmidt & Nordling, 2003). Dessa syror förekommer dock inte i någon detekterbar mängd och därför borde ett billigare material kunna väljas. Från syra- basititreringen av kondensatet kunde nämligen inga spår av vare sig saltsyra eller svavelsyra påträffas.

5.2. Marknadsutsikter

5.2.1. Krav angående stoftutsläpp, idag

För utsläpp av stoft gäller idag att anläggningar på under 500 kW maximalt får släppa ut 350 mg stoft/m³ torr gas, 10 % CO₂. För större anläggningar gäller i tätort 100 mg stoft/m³ torr gas, 10 % CO₂. (Bioenergihandboken, 1994). Pannor som installeras i tätort måste klara tjärutsläpp på maximalt 30 mg tjära per MJ tillfört bränsle. (Gustavsson m.fl., 1993).

5.2.2. Kyotoprotokollets inverkan

Kyotoprotokollet har åter börjat dra uppmärksamhet till sig i och med att Ryssland ratificera protokollet (Bioenergi, 2004). Därmed är villkoren uppfyllda för att protokollet ska kunna träda i kraft 2008, med eller utan USA (Karlsson, 2004). Intresset för koldioxidneutrala energiproduktionssätt kommer troligen uppmärksammas allt mer de kommande åren. Inte minst till följd av att handeln med utsläppsrätter kommer igång vid årsskiftet 2005/2006. Även om handeln inte omfattar hushållens utsläpp så är det troligt att medvetenheten om utsläppen av växthusgaser kommer att sprida sig även till hushållen. Vedeldning anses visserligen som koldioxidneutralt men metan är också en växthusgas och utsläppen av metan från vedpannor är påtaglig. Av denna anledning är det inte långt borta att anta att regleringar eller styrmedel som verkar för att minska dessa utsläpp snart kan bli aktuella. Se även 5.2.3.

5.2.3. Ekonomiska styrmedel

Något som talar för biobränslen i allmänhet, såväl ved som pellets, är att dessa inte är beskattade. Olja och el är idag kraftigt beskattade och utsläppen från större anläggningar är avgiftsbelagda. Att biobränslena i framtiden skulle bli beskattade verkar föga troligt med den gröna skatteväxling som nu pågår. På grund av de utsläpp av oförbrända kolväten, i synnerhet metan, som dålig vedeldning ger upphov till kan det tänkas att det skulle kunna bli motiverat med någon form av avgift

utifrån typ av panna, om det finns ackumulator eller ej samt eventuellt ett test för att se hur villaägaren klarar av att sköta sin panna. I ett sådant sammanhang skulle minskade utsläpp tack vare en rökgaskondensor kunna leda till en reducering av en sådan avgift.

5.2.4. Medvetenhet om emissioner

Det som troligen mest kommer att gynna en efterfrågan på tekniken är en ökad medvetenhet om övriga utsläpp från vedeldade villapannor, förutom koldioxid. Om det kommer fram teknik, till överkomligt pris, som klarar av att rena rökgaserna från oförbrända komponenter är det mycket möjligt att lagstadga, vad gäller utsläpp från små anläggningar, kommer att skärpas. Det har redan kommit ut förslag på nya krav som skulle kunna ställas (Filipsson m.fl., 2003).

5.2.5. Potentiell marknad

I Sverige använder 464 000 av de 1,6 miljoner småhusen⁴ någon form av biobränslen för sin uppvärmning. Av dessa eldar 93 000 enbart med biobränslen (<http://www.scb.se/statistik/EN/EN0102/2003M00/EN16SM0302.pdf>, 2004-11-29). Till biobränslen räknas förutom ved och pellets även spannmål vilket har blivit mer populärt på senare tid. Utifrån Wiman & Löfgren (2004) kan uppgift om att totala antalet vedpannor i landet uppgår till nästan 173 000 beräknas. Enligt Energimyndigheten (2002) skulle 25 % av beståndet av pannor kunna anses vara modernt. Det skulle innebära att 43 250 av vedpannorna skulle vara moderna och att knappt 1 000 vedpannor byts ut per år. Wiman & Löfgren (2004) anger däremot att det under de senaste fyra åren försvunnit 27 650 dåliga vedpannor, vilket skulle innebära att nästan 7 000 vedpannor byts ut per år. Det är dock kanske inte så att alla dessa byts ut mot enbart nya moderna vedpannor.

Om det antas att rökgaskondensorn kopplas till 5 % av de vedpannor som nyinstalleras (antaget 1 000 nya pannor per år) och 1 % av de befintliga vedpannorna så innebär det 1 780 nya anläggningar per år. Om utsläppskraven skärps finns alltså en liten potentiell marknad i Sverige.

5.3. Ekonomi

5.3.1. Kostnad för prototyp

Den totala kostnaden för prototypanläggningen uppgick till ungefär 60 000 kronor, se Tabell 5.1. Om det billigare SS 2333 kan väljas istället för SS 2343 skulle kostnaderna för råmaterialet kunna minskas med ungefär 30 % (Goldschmidt & Nordling, 2003).

⁴ Permanent bebodda småhus, år 2002.

Tabell 5.1: *Kostnader för rökgaskondensorn (Gunnarsson, 2004)*

	Kostnad
Material	30 000
Arbete	20 000
Skorsten	10 000
Totalt	60 000

Det bör observeras att om en befintlig skorsten är syrafast behöver inte någon investering för skorstenen göras. Det är dessutom möjligt att en välisolerad skorsten i traditionell mening inte blir nödvändig, tack vare den låga rökgastemperaturen. Om reningen av rökgasen är tillräckligt hög skulle rökgasen rent teoretiskt kunna släppas ut i markhöjd. I följande beräkningar har dock ingen hänsyn tagits till eventuell eliminering av kostnaden för skorstenen.

5.3.2. *Kostnad för kund*

Om en reduktion av produktionskostnaden med 50 % (Gunnarsson, 2004) antas blir tillverkningskostnaden istället 30 000 kronor. I priset till en potentiell kund tillkommer försäljarens vinstmarginal, här satt till 5 000 kronor, eftersom mer troligen inte är möjligt att ta ut. 5 000 kronor motsvarar ungefär 14 % vinstmarginal och slutpriset blir 35 000 kronor.

Tabell 5.2: *Uppläggnings av privatlån på 35 000 kronor, annuitet*
(<http://swp2.vv.sebank.se/cgi-bin/pts3/pow/wcp/index.asp>, 2004-11-16)

Ränte- sats	Antal år	Betalning per månad	Totalt att betala per år	Total ränta	Totalt belopp
7,5	3	1 088,72	13 064,64	4 193,83	39 193,83
7,5	5	701,33	8 415,96	7 079,69	42 079,69
7,5	10	415,46	4 985,52	14 854,74	49 854,74
10,0	3	1 129,35	13 552,20	5 656,66	40 656,66
10,0	5	743,65	8 923,80	9 618,79	44 618,79
10,0	10	462,53	5 550,36	20 503,31	55 503,31

Tabell 5.3: *Uppläggnings av privatlån på 35 000 kronor, rak amortering*
(<http://swp2.vv.sebank.se/cgi-bin/pts3/pow/wcp/index.asp>, 2004-11-16)

Ränte- sats	Antal år	Amortering per månad	Genomsnittligt belopp per år	Total ränta	Totalt belopp
7,5	3	972,22	13 015,63	4 046,88	39 046,88
7,5	5	583,33	8 334,38	6 671,88	41 671,88
7,5	10	291,67	4 823,44	13 234,38	48 234,38
10,0	3	972,22	13 465,28	5 395,83	40 395,83
10,0	5	583,33	8 779,17	8 895,83	43 895,83
10,0	10	291,67	5 264,58	17 645,83	52 645,83

Om kunden tar ett lån på tre år till 7,5 %⁵ ränta har kunden till slut betalat strax över 39 000 kronor för sin anläggning. Om anläggningen antas ha en livslängd på 20 år kan den då skrivas av med 1 950 kronor per år.

⁵ Rörlig ränta, privatlån:

NORDEA 6,75 % (<http://www.nordea.se/lan/index.html>, 2004-11-16), SEB 7,05 %

5.3.3. Möjlig besparing, egen ved

Med en energibesparing på 13 % sparas 2 600 kWh in per år, om årsbehovet för villan är 20 000 kWh. Om vedhanteringen anses som en fritidssyssla blir 13 % besparing av "ingen" kostnad fortfarande "gratis". Om arbetet med veden däremot kan ses som förlorad semester går det att räkna på. Utifrån en månadslön på 15 000 kronor och en skattesats på 30 % blir timlönen ungefär 65 kronor efter skatt. Om drygt sju timmar per år kan sparas in från klyvning med mera och ytterligare fyra timmar i hanteringen av bränslet inför eldningen ger de drygt elva timmarna en besparing i arbetskostnad på knappt 740 kronor per år. Vilket skulle innebära att anläggningen, med en livslängd på 20 år, totalt inte skulle få kosta mer än 14 800 kronor. Kostnaden per kWh för den energi som pannan levererar skulle bli drygt 28 öre. Kostnaden per kWh för den energi som rökgaskondensorn bidrar med blir 75 öre, utifrån ett pris på 39 000 kronor för anläggningen. Den genomsnittliga kostnaden för energin från veden och för energin från rökgaskondensorn blir drygt 34 öre per kWh, när rökgaskondensorn bidrar med 13 %.

Tabell 5.4: *Energibehov 20 000 kWh per år, egen ved*
Berättigat pris anger det pris för anläggningen då kostnaden per kWh värme levererad av rökgaskondensorn blir den samma som för energin levererad av panna

	Rökgaskondensorns bidrag		
	0 %	13 %	22 %
Arbetsbehov med veden	87 h 30 min	76 h 7 min	68 h 15 min
Total kostnad för arbetet med veden	5 688 kr	4 948 kr	4 436 kr
Energi från pannan	20 000 kWh	17 400 kWh	15 600 kWh
Arbetskostnad för vedhanteringen per kWh levererat från pannan	28 öre	28 öre	28 öre
Kostnad för rökgaskondensorn	-	39 000 kr	39 000 kr
Livslängd	-	20 år	20 år
Energi från rökgaskondensorn	-	2 600 kWh	4 400 kWh
Total mängd levererad energi från rökgaskondensorn	-	52 000 kWh	88 000 kWh
Kostnad för rökgaskondensorn per producerad kWh	-	75 öre	44 öre
Avskrivning av kostnaden för rökgaskondensorn per år	-	1 950 kr	1 950 kr
Genomsnittlig kostnad per kWh för energin levererad av panna och rökgaskondensorn	28 öre	34 öre	32 öre
Besparing i kostnad för arbete, per år	-	740 kr	1 250 kr
Berättigat pris för rökgaskondensorn	-	14 800 kr	25 000 kr

Om istället 4,5 kW mot 16 kW används, det vill säga 22 %, skulle 4 400 kWh per år kunna tillgodoses med rökgaskondensorn. Kostnaden för energin från rökgaskondensorn blir då drygt 44 öre per kWh. Den genomsnittliga kostnaden blir 32 öre per kWh.

(<http://swp2.vv.sebank.se/cgi-bin/pts3/pow/wcp/index.asp>, 2004-11-16),
 IKANOBANKEN 8,95 %
 (<http://www.ikanobanken.se/frameset.asp?upper=node1128.asp&lower=node1976.asp>, 2004-11-16)

5.3.4. Möjlig besparing, köpt ved

Besparingen för veden på 740 kronor per år, i avsnitt 5.3.3 ovan, innefattar bara själva arbetet med veden. Om kostnader för veden i sig samt el och kanske hyra för maskiner för att färdigställa veden tas med blir priset högre. Det har ansetts som svårt att inom ramen för detta arbete göra en rimlig uppskattning av priser utifrån dessa faktorer, istället har priser för färdigklugen ved sökts på www.bloeket.se (2004-11-16). Priset varierade mellan 130 kr/m³ och 400 kr/m³, i annonserna anges inte vilken typ av kubikmeter som avses men troligen gäller det obarkad travad ved. Antaget att en kubikmeter travad ved ger 1 000 kWh i tillgänglig energi blir den totala kostnaden för veden nu 13 till 40 öre per kWh och kostnaden per år för 20 000 kWh producerad energi ligger då mellan 2 600 och 8 000 kronor per år. Till detta kommer sedan arbetet med veden i samband med eldningsen, se Tabell 5.5 nedan.

2 600 kWh kan sparas in, om rökgaskondensorn står för 13 %, vilket blir 1 307 kronor per år om veden kostar 400 kr/m³, se Tabell 5.5. Detta berättigar till ett totalt pris på 26 140 kronor för anläggningen om den går i 20 år. Vid 22 % kan 4 400 kWh sparas in och med 2 211 kronor insparade per år skulle ett pris på 44 220 kronor för anläggningen vara möjligt.

Tabell 5.5: Energibehov 20 000 kWh per år, köpt ved 400 kr/m³
Berättigat pris anger det pris för anläggningen då kostnaden per kWh värme levererad av rökgaskondensorn blir den samma som för energin levererad av panna

	Rökgaskondensorns bidrag		
	0 %	13 %	22 %
Arbetsbehov med veden	31 h 30 min	27 h 24 min	24 h 34 min
Total kostnad för arbetet med veden	2 048 kr	1 781 kr	1 597 kr
Energi från pannan	20 000 kWh	17 400 kWh	15 600 kWh
Total kostnad för veden	8 000 kr	6 960 kr	6 240 kr
Kostnad för veden per kWh levererad från pannan	50 öre	50 öre	50 öre
Kostnad för rökgaskondensorn	-	39 000 kr	39 000 kr
Livslängd	-	20 år	20 år
Energi från rökgaskondensorn	-	2 600 kWh	4 400 kWh
Total mängd levererad energi från rökgaskondensorn	-	52 000 kWh	88 000 kWh
Kostnad för rökgaskondensorn per producerad kWh	-	75 öre	44 öre
Avskrivning av kostnaden för rökgaskondensorn per år	-	1 950 kr	1 950 kr
Genomsnittlig kostnad per kWh för energin levererad av panna och rökgaskondensorn	50 öre	53 öre	49 öre
Besparing i kostnad för arbete och ved, per år	-	1 307 kr	2 211 kr
Berättigat pris för rökgaskondensorn	-	26 140 kr	44 220 kr

5.3.5. Livslängd 20 år

Möjliga priser för anläggningen, beräknat i avsnitt 5.3.3 och 5.3.4, baseras på en livslängd på 20 år. Dessa priser bör ses som de absolut mest maximala eftersom kunden helst vill göra en ekonomisk vinst på sin installation. Om nya riktlinjer för utsläpp träder i kraft kan det ändå skapas en efterfrågan, även om ingen ekonomisk vinst kan inräknas. Kostnaden får dock inte bli oöverkomlig eftersom nya krav inte får strida mot § 2.7 i Miljöbalken (<http://www.notisum.se/>, 2004-12-03). Där anges att det inte får vara ekonomiskt orimligt att vidta de åtgärder som krävs.

5.3.6. Ved eller pellets?

Om valet, till följd av strängare utsläppskrav, stod mellan en ny pelletspanna och komplettering av den tidigare pannan med rökgaskondensorn kan investeringen i anläggningen bli mer lönsam än vad som framkommer ovan, framförallt avsnitt 5.3.3. Detta eftersom pelletspannan först måste köpas in och sen måste även pellets köpas till ett pris av cirka 43 öre per kWh.

Tabell 5.6: *Priser⁶ för olika energibärare (Westermark, 2004)*

	Pris [öre/kWh]
Olja	90
El	100
Fjärrvärme	57
Pellet	43

5.3.7. Slutsats

Med en kostnad för anläggningen på 39 000 kronor är det lönsamt att installera en rökgaskondensor endast om den bidrar med så pass mycket som 22 %, eller mer, av det totala energibehovet. För att investeringen ska kunna anses lönsam måste veden i detta fall ändå kosta 40 öre per kWh och den tid som åtgår för att sköta pannan måste gå att knyta till en kostnad för detta arbete. Det skulle kunna bli lönsamt med rökgaskondensorn om marknadens styrs i en sådan riktning via bestämmelser för utsläpp eller någon typ av ekonomisk styrning. Annars kommer marknaden att vara mogen först när anläggningskostnaden kan reduceras ordenligt. För att en installation av rökgaskondensorn ska ske av eldarens egen vilja bör anläggningen betala tillbaka sig själv på maximalt tio år. Detta innebär att kostnaden för anläggningen inte får uppgå till mer än hälften av vad som har beräknats i avsnitt 5.3.3 och 5.3.4 ovan.

5.4. Diskussion kring analyserna

5.4.1. Ekonomi eller miljö?

För att rökgaskondensorn ska nå ut på marknaden måste antingen dess kostnad reduceras med 80 %, ner till en nivå kring 10 000 kronor eller mindre, eller dess

⁶ Priserna gäller maj 2004. De är justerade för verkningsgraderna så långt det går (Westermark, 2004).

miljömässiga fördelar lyftas fram. För att nå ut på en större marknad med miljömotiveringen förutsätts att någon form av styrmedel kommer till stånd. Antingen om det kommer krav på maximala utsläpp eller genom ekonomisk styrning, förslagsvis genom en schablonmässig skatt eller avgift utifrån de förväntade utsläppen från ett visst uppvärmningssystem.

Om det kommer krav på maximala utsläpp av till exempel oförbrända kolväten finns det en risk för att konvertering till oljeeldning (Filipsson m.fl., 2003) kommer att bli mer intressant än andra alternativ (förutsatt att oljepriset inte skjuter i höjden).

Tabell 5.7: *Utsläpp från miljömärkta olje- och vedpannor (Bernergård m.fl., 1993)*

	Miljömärkt oljepanna	Miljömärkt vedpanna (16 % fukt i bränslet)
NO _x [mg/MJ tillförd energi]	33	120
THC [mg/MJ tillförd energi]	4	60
CO [mg/MJ tillförd energi]	15	1250

5.4.2. Bekvämlighet och fuktig ved

Det minskade behovet av arbete kan tänkas högre värderat av villaägaren än vad som här antagits. Tyvärr är så troligen inte fallet utan snarare att villaägaren inte värderar arbetet alls.

Fuktig ved genererar större utsläpp av bland annat tjära och VOC (Ljungblom, 1996), installation av skrubber och rökgaskondensor skulle kunna leda till en reduktion av dessa utsläpp. Att motivera kunderna med att det går att elda fuktig ved tack vare rökgaskondensorn kan däremot bli mycket fel om det skulle visa sig att den försämrade förbränningen, utöver de ökade utsläppen, även skulle ha en väsentlig påverkan på effektuttaget ur pannan. Vidare studier av detta är nödvändigt innan någon slutsats kan dras.

5.4.3. Material reduktion

Vid tillverkningen av rökgaskondensorn är det möjligt att materialet kan bytas till ett stål av lägre syratålighet men även lägre kostnad. Vid TPS studien beräknades att den kylande arean för en rökgaskondensorn, med släta väggar och spraytillsatts, på 3 kW skulle behöva vara 1,5 m². För en annan rökgaskondensor med räfflade kanaler och spraytillsatts, också på 3 kW, skulle ytan istället bara behöva vara 0,8 m² vilket innebär ett minskat behov av material. Kombinationen billigare material och mindre material skulle kunna få positiva effekter på tillverkningskostnaden, men det behöver studeras ytterligare.

Vid TPS studien antas att en enklare skorsten kan användas tack vare rökgaskondensorn. Det är möjligt men det bör undersökas närmare eftersom det kan

vara nödvändigt att ha möjlighet till att koppla rökgaserna förbi rökgaskondensorn. Om så är fallet kommer kraven på rökgaskanalen att kvarstå medan kraven på syrakorrosionsbeständighet tillkommer.

5.4.4. Katalysator

Vid etapp två av studien vid TPS (Fredriksson & Rudling, 2000) användes en katalysator för att reducera utsläppen av tjärkolväten. Anledningen till detta var för att undvika igensättning i värmeväxlaren. Katalysatortekniken är både ett möjligt alternativ och ett möjligt komplement till rökgaskondensering. Som konkurrerande teknik har den en nackdel i att katalysatorn inte är verksam förrän vid högre temperaturer. I Berg, Gustavsson & Berge (1998) undersöktes den möjliga reduktionen av emissioner via katalytisk rening. Katalysatorn som studerades var inte verksam förrän vid 300°C och krävde ett arbetsintervall på 500°C till 900°C. Enligt en artikel i Ny Teknik (2004) har forskning vid Chalmers visat att små puffar av syre kan göra det möjligt att få katalysatorer verksamma redan vid 150°C. Skrubber och rökgaskondensorn däremot kan ge reduktioner av utsläppen redan från det att pannan tänds.

6. Förslag till utveckling

Innan några vidare studier av rökgaskondensorn görs bör anledningen till den oväntat låga panneffekten klarläggas. Även påverkan av tidsförskjutningen av vattnet i systemet behöver undersökas närmare. Med en annan koppling, där temperaturen in till rökgaskondensorn är konstant, är det möjligt att någon hänsyn till tidsförskjutningen inte behöver tas.

I fortsatta studier av anläggningen bör följande studeras:

- Ytterligare tester av prestanda och rökgasrening utifrån resultaten i denna studie.
- Hur kylvattnet bör kopplas in på bästa sätt samt hur låg kylvatten-temperaturen bör vara.
- Hur det fungerar med torvfilter för att rena kondensatet från kolväten och hur ofta kondensattanken behöver tömmas och rengöras.
- Fukthaltstester, hur bränslets fukthalt påverkar rökgaskondensorns effekt. I samband med dess studier bör risken för ofullständig förbränning, och därmed nersatt panneffekt och ökade utsläpp, tas i beaktande. I samband med dessa tester bör energiförluster hos bränslet vid lagring jämföras mot förbränningen av fuktigare bränslen.
- Lämpliga material bör undersökas närmare. Förslagsvis med utgång ur en litteraturstudie samt fler mätningar av innehållet i kondensatet.
- Produktutveckling mot en billigare konstruktion.

7. Referenser

7.1. Tryckta referenser

- Alvarez, H., 1990. *Energiteknik, del 1*. Studentlitteratur. Lund, Sverige.
- Bernergård, L. & Guldbrand, L. m.fl. 1993. Utsläpp från småskalig vedeldning. *NUTEK, Rapport 1993:63*. Naturvårdsverket, Rapport 4270. ISSN 1102-2574.
- Berg, M., Gustavsson, P. & Berge, N. 1998. Katalytisk reduktion av emissioner från småskalig förbränning av biobränsle. *Energimyndigheten, Rapport 23:1998*. ISSN 1403-1892.
- Bioenergi. 2004. Ryssland ratificerar Kyoto. *Bioenergi* 5, 49.
- Dasytec USA 2004. *DasyLab Version 8 – Module Reference Guide*. National Instruments. Dasytec USA. Bedford, USA.
- Dasytec USA 2004. *DasyLab Version 8 – User Guide*. National Instruments. Dasytec USA. Bedford, USA.
- DeWitt, D.P. & Incropera, F. P. 1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 4th edition. John Wiley & Sons. USA.
- Energimyndigheten, 2004. Energiläget 2004. *Statens Energimyndighet, ET 17:2004*.
- Energimyndigheten, 2002. Värme i Sverige – en uppföljning av värmekostnaderna. *Energimyndigheten, ET 1:2002*.
- Energimyndigheten, 2001. Klimatpolitik i EU. *Energimyndigheten, EB 6:2001*.
- Filipsson, E. & Karlsson, G. m. fl. 2003. Småskalig vedeldning Energimyndighetens analys och förslag till åtgärder. *Statens energimyndighet. Rapport 23:2003*. ISSN 1403-1892.
- Forsberg, G. m.fl. 1994. *Bioenergi – dokumentation från höstmötet 1994*. Länsstyrelsen i Värmlands län. Karlstad, Sverige. Anteckningarna från föredraget av Gustavsson, L., Statens Provnings och Forskningsinstitut.
- Fredriksson, C., Ramström, E. & Berge, N. 2002. Optimerad ved-/pelletspanna med rökgaskondensering. *TPS, Rapport 02/15*.
- Fredriksson, C. & Rudling, L. 2000. Optimerad ved-/pelletsplan med rökgaskondensering, etapp 2. *TPS, Rapport 00/43*.
- Goldschmidt, B. & Nordling, M. 2003. Materialval vid rökgaskondensering. *Värmeforsk, Rapport 800*. ISSN 0282-3772.
- Gustavsson, B. 2003. Förstudie av teknikupphandling för vedpannor. *Luleå tekniska universitet. Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik, Rapport 2003:082*. ISSN 1402-1617.
- Gustavsson, L., Karlsson, M.L., Larfeldt, J. & Leckner, B. 1993. Emissioner från småskalig biobränsleeldning – forskningsbehov. *Chalmers tekniska högskola. Institutionen för Energiteknik, Rapport A 93-207*. Statens Provningsanstalt, Rapport 1993:44.
- Karlsson, G., 2004. Current policy areas. *Energy in Sweden 2003*, 4-7.

- Kovács, P. 2000. *Akkumulatörsystem: en installations- och dimensioneringsguide*. Statens Energimyndighet. Eskilstuna. Konsumentverket. Stockholm. Sverige.
- Krögerström, L. 1993. *Vedboken modern vedeldning i villa*. Media Nova, Stockholm. Sverige.
- Krögerström, L. 2002. *Värme i villan*. Energimyndigheten, ET 17:2002. Eskilstuna. Sverige.
- Liss, J.E. & Swanström, J. 1984. Mindre fastbränsleanläggningar. *Småskogsnytt, information från Forskningsgruppen för småskaligt skogsbruk. Nummer 1, 1984*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Stencil nummer 259.
- Ljungblom, L. 1994. *Bioenergi, del 1*. Larsons förlag. Täby. Sverige.
- Ljungblom, L. 1996. *VED pärmen*. Novator, Stockholm. Sverige.
- Månsson, L. 2004. *STL Combi Dust Sampler. Kursmaterial till "Kurs i stoft- och gasflödesmätning 15-17 juni 2004"*. METLAB miljö AB. Enköping. Sverige.
- Mörtstedt, S.E. & Hellsten, G. 1987. *Data och Diagram: Energi- och kemitekniska tabeller. 6:e upplagan*. Esselte Studium AB. Sverige.
- Naturvårdsverket. 1993. *Rökgaskondensering: punkt 41.02.01 A, 41.02.02 B, 41.02.03 C, 92.03.01 A och 92.03.02 B i miljöskyddsförordningen (1989:364)*. Statens naturvårdsverk. Solna. Sverige.
- Ny Teknik. 2004. Syrgas väcker sovande katalysator. *Ny Teknik 50, del 1*, 16.
- Schwarz, L. 1999. Rökgaskondensering vid småskalig biobränsleeldning. *Chalmers tekniska högskola. Institutionen för Energiteknik, Rapport T 99-239*.
- Svenska Bioenergiinstitutet 1994. *Bioenergihandboken*. Svenska Bioenergiinstitutet, Skara. Sverige.
- Rydh, C. J., Lindahl, M. & Tingström, J. 2002. *Livscykelanalys – en metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*. Studentlitteratur. Lund. Sverige.
- Wester, L. 1998. *Tabeller och diagram för energitekniska beräkningar*. Lars Wester. Västerås. Sverige.
- Westermarck, N.E. 2004. Fler än 55 000 villa ägare har valt rätt. *Bioenergi 3*, 31.
- Wiman, D. & Löfgren, B.E. 2004. Egen härd allt mera Guld värd. *Bioenergi 5*, 29.

7.2. Övriga referenser

- Baxi. Produkter. Vedpannor. Bonus. Provningsprotokoll Bonus, nominell med björkved, EN 303-5.
http://www.baxi.se/UppladdadeFiler/PDF/32765_Test_bonus_nominell_bjork.pdf:
 (hämtad 2004-08-23).
- Baxi. Produkter. Vedpannor. Bonus. Provningsprotokoll Bonus, nominell med granved, EN 303-5.

- http://www.baxi.se/UppladdadeFiler/PDF/32766_Test_bonus_nominel_gran.pdf; (hämtad 2004-08-23).
- Baxi. Produkter. Vedpannor. Bonus. Instruktion Bonus S.137487, rev 2, 03-06-1. <http://www.baxi.se/UppladdadeFiler/Manualer/bonus-S.137487.02.03-06-01.pdf>; (hämtad 2004-08-23).
- Blocket.se. Uppsala. Ved. Alla kategorier. Hela Sverige. www.blocket.se (använd 2004-11-16).
- DASYLab. Version Basic. (Programvara.) National Instruments. Dasytec USA.
- Energi Persson. <http://www.energipersson.se>; (använd 2004-12-06).
- Gunnarsson, Erik. Egenföretagare vid företaget Energikontroll i Ljusdal. Muntiga diskussioner hösten 2004.
- Ikanobanken. Låna. Lilla lånet. Läs mer om lån: Lilla lånet. <http://www.ikanobanken.se/frameset.asp?upper=node1128.asp&lower=node1976.asp>; (använd 2004-11-16).
- Nordea. Privat. Lån och krediter. Privatlån. <http://www.nordea.se/lan/index.html>; (använd 2004-11-16).
- Rättsnätet. Lagstiftning. Logga in. Sök. <http://www.notisum.se/>; (använd 2004-12-03).
- Seisenbaeva, Gulaim. Forskare, Sveriges Lantbruks Universitet. Institutionen för bioenergi. Uppsala. Muntliga diskussioner hösten 2004.
- Skandinaviska Enskilda Banken, SEB. Låna. Lån utan säkerhet. Lånekalkyl. <http://swp2.vv.sebank.se/cgi-bin/pts3/pow/wcp/index.asp>; (använd 2004-11-16).
- Statistiska Centralbyrån, SCB. Statistik efter ämne. Energi. Energistatistik för småhus. Publikationer. Energistatistik för småhus 2002. Hela publikationen. <http://www.scb.se/statistik/EN/EN0102/2003M00/EN16SM0302.pdf>; (använd 2004-11-29).
- Stern, Tatjana. Forskare, Sveriges Lantbruks Universitet. Institutionen för bioenergi. Uppsala. Muntliga diskussioner hösten 2004 och våren 2005.

BILAGA A: BERÄKNINGAR

Till denna bilaga har examensarbetet av Schwarz (1999) inledningsvis varit till stor hjälp för att hålla koll på beräkningarna och beräkningsgången. Detta eftersom beräkningarna i det examensarbetet i mångt och mycket är de samma som har krävts för detta arbete.

Beräkningarna har utförts i programmet *DASYLab* som kan anses bygga på ”visuell programmering” och där mätsignaler kan tas in via en A/D omvandlare (analog till digital omvandlare). I Bilaga B kan använda beteckningar för de mätsignaler som togs in till programmet ses i Tabell B.1, tillsammans med den enhet som respektive mätsignal har kalibrerats för, samt det mätinstrument som utnyttjats för att erhålla signalen. I programmet anges även en rad konstanter samt information om bränslet, dessa redovisas i Tabell B.2 och Tabell B.3 tillsammans med respektive beteckning.

INNEHÅLL

Rökgaskondensorns prestanda	II
Effekten från pannan.....	II
Energi från rökgaskondensorn	II
Energi från pannan.....	III
Övriga beräkningar	III
<i>Massflödet av kylvatten</i>	III
<i>Vattnets entalpi</i>	III
<i>Vattnets densitet</i>	IV
<i>Bränsleflöde</i>	IV
<i>Effekt avgiven från rökgasen i rökgaskondensorn</i>	IV
<i>Rökgasflödet</i>	V
<i>Massandelar</i>	XI
<i>Specifik värmekapacitet, cp, för rökgaserna</i>	XI
<i>Kondensatflöde</i>	XII
<i>Ångbildningsvärme</i>	XII
<i>Luftfaktorn</i>	XII

Rökgaskondensorns prestanda

För att kunna utvärdera rökgaskondensorn behöver effekten som tas upp i kondensorn beräknas. Detta görs utifrån vetskapen om att mängden tillförd värme fås som differensen mellan vattnets entalpi efter respektive före rökgaskondensorn, förutsatt att trycket är konstant och att processen kan antas vara reversibel (Alvarez, 1990, sidorna 276 - 278). Den effekt som vattnet tar upp har beräknats som upptagen energi per tidsenhet:

$$P_{RGK\,uppt} = \dot{m}_{VARGK} \times (h_{VAa} - h_{VAd}) \quad \text{Ekvation A.1}$$

Rökgaskondensorns verkningsgrad beräknas för att kunna konstatera hur effektiv den är.

$$\eta_{RGK} = \frac{P_{RGK\,uppt}}{P_{RGK\,avg}} \times 100 \quad \text{Ekvation A.2}$$

Effekten från pannan

Rökgaskondensorns prestanda jämförs även mot vad pannan ger. För att beräkna effekten från pannan har här entalpidifferensen på vattensidan utnyttjats, på samma sätt som i Ekvation A. 1:

$$P_{Panna} = \dot{m}_{VAPANNA} \times (h_{VAb} - h_{VAa}) \quad \text{Ekvation A.3}$$

Energi från rökgaskondensorn

Det är intressant att studera hur mycket energi som erhålls från rökgaskondensorn. I DASYLab har det varit möjligt att beräkna energin genom att multiplicera den erhållna effekten från rökgaskondensorn med tiden mellan två närliggande beräkningar av effekten. Genom att förskjuta värdet i tiden kan det adderas till nästa värde. Genom summering erhöles den totala energi som producerats över en mätserie.

Energi från pannan

Genom att jämföra mängden energi från rökgaskondensorn med energin från pannan under samma tidsintervall kan eventuella förändringar i prestandaförhållandena mellan panna och rökgaskondensor lättare utvärderas. Beräkningarna genomförs på samma sätt som energiberäkningen för rökgaskondensorn, med skillnaden att det är panneffekten som används.

Övriga beräkningar

För att kunna göra ovanstående beräkningar krävs emellertid en del förarbete.

Massflödet av kylvatten

Massflödet av kylvatten från ackumulatorn, genom rökgaskondensorn fås från det uppmätta volymflödet:

$$\dot{m}_{VARGK} = \dot{V}_{VARGK} \times \rho_{VA} \quad \text{Ekvation A.4}$$

Massflödet av kylvatten genom pannan beräknas utifrån mass- och energibalanserna i blandningspunkten, där vattnet från pannan och eventuellt överflödigt vatten från rökgaskondensorn möts (Alvarez, 1990, sidan 333).

$$\dot{m}_{VAPANNA} = \frac{\dot{m}_{VARGK} \times (h_{VAKOMBI} - h_{VAa})}{h_{VAb} - h_{VAa}} \quad \text{Ekvation A.5}$$

Vattnets entalpi

Entalpin för vatten kan beräknas med hjälp av följande formler (Wester, 1998, sidorna 290 - 291):

$$h_{VA} = Y(S) \times 2099,3 \quad \text{Ekvation A.6}$$

$$Y(S) = A_{Ent} + B_{Ent} \times T_{rVA}^{1/3} + C_{Ent} \times T_{rVA}^{5/6} + D_{Ent} \times T_{rVA}^{7/8} + \sum_{n=1}^7 E_n \times T_{rVA}^n \quad \text{Ekvation A.7}$$

$$T_{rVA} = \frac{647,3 - (T_{VA} + 273,15)}{647,3} \quad \text{Ekvation A.8}$$

Med koefficienter enligt Tabell B. 2 är Ekvation A.6 giltig för flytande vatten i temperaturintervallet 300K till 600K (viket motsvarar ungefär 27°C till 327°C). Med koefficienter enligt Tabell B. 3 är ekvationen giltig för vattenånga i temperaturintervallet 273,16K till 647,3K (viket motsvarar ungefär 0°C till 374°C). I de fallen entalpin för vattenånga beräknas används rökastemperaturen.

Vattnets densitet

Densiteten för vattnet fås som den inverterade specifika volymen. Densiteten fås då ur Ekvation A. 9 nedan. I Ekvation A.7 används koefficienter enligt Tabell B.4, vilket ger att beräkningarna är giltiga i temperaturintervallet 273,16K till 647,3K (viket motsvarar ungefär 0°C till 374°C).

$$\rho_{VA} = \frac{1}{Y(S) \times 0,003155}$$

Ekvation A.9

Bränsleflöde

Alla flöden på rökassidan beräknas per kg tillfört bränsle. För att erhålla resultaten per tidsenhet måste dessa flöden korrigeras genom att multiplicera dem med bränsleflödet.

Bränsleflödet vid eldning med simulerat biobränsle, det vill säga en blandning av etanol och vatten, kan anges statistiskt eller läsas in direkt i programmet. Vid eldningen med fasta bränslen har bränsleflödet inte kunnat beräknas oberoende av rökaskondensorns effekt. Detta har lett till att kondensorns verkningsgrad inte kunnat beräknas och större delen av beräkningarna har därmed blivit överflödiga.

Effekt avgiven från rökgasen i rökaskondensorn

Den avgivna effekten från rökgaserna fås som summan av den avgivna effekten från rökaskondensorn, till följd av temperatursänkningen, och den avgivna effekten på grund av kondensering av vatten i rökaskondensorn.

$$P_{RGK\,avg} = \dot{m}_{BR} \times \left(\left(m_{iRG} \times (C_{p\,iRG1} \times T_{RG1} - C_{p\,iRG2} \times T_{RG2}) \right) + \dots \right. \\ \left. \dots m_{\dot{A}} \times (h_{RG1} - h_{RG2}) + m_{KOND} \times C_{KOND} \right)$$

Ekvation A.10

Rökgasflödet

Rökgasflödet före kondensorn beräknas teoretiskt utifrån bränslets elementaranalys. Den teoretiska beräkningen börjar med att omvandla elementaranalysens viktfordelning per torrsustans till en viktfordelning där även vattnet i bränslet ingår.

$$x = \frac{X}{100} \times (100 - f)$$

Ekvation A.11

x är viktprocent av komponent x per kg fuktigt bränsle.

X är viktprocent av komponent x per kg torrsustans (TS), se Tabell B.5.

f är viktprocent fukt per kg fuktigt bränsle, se Tabell B.5.

Därefter kan den stökiometriska mängden syrgas, som behövs för att nå fullständig förbränningen, beräknas.

Stökiometriskt behov av syrgas

Först måste den nyligen erhållna viktprocenten omvandlas till substansmängd.

Utifrån den beräknade viktprocenten för bränslets komponenter, x , kan substansmängderna, n_x , beräknas:

$$n_x = \frac{x/100}{M_x}$$

Ekvation A.12

n_x är substansmängden av komponent x i bränsle, i kmol per kg bränsle.

M_x är molvikten hos komponent x , i kg per kmol, se Tabell B.6.

Behovet av syrgas fås sedan genom att studera den bildade föreningens kemiska formel samt den, utöver syre, ingående komponentens substansmängd. Det totala syrgasbehovet minskas sedan med en mängd motsvarande den för syreinnehållet i bränslet.

$$n_{O_2 \text{ stök}} = n_{C \text{ BR}} + n_{S \text{ BR}} + \frac{1}{4} n_{H \text{ BR}} - \frac{1}{2} n_{O \text{ BR}}$$

Ekvation A.13

Syrgasmängd från tillfört luftöverskott

I systemet mäts syrgasens volymprocent, O_2 , i rökgasen (fuktig rökgas) utifrån volymprocenten kan substansmängden syrgas, per kubikmeter rökgas, beräknas med hjälp av syrgasens molvolym, mv_{O_2} .

$$n_{O_2 \text{ öv}} = \frac{O_2/100}{mv_{O_2}}$$

Ekvation A.14

Kvävgasmängd från tillfört luftöverskott

I stort sett så består luften av 21 volymprocent syre och 79 volymprocent kväve, om syrevolymen är känd blir volymen kvävgas 79 stycken 21-delar av syrevolymen:

$$\frac{79}{21} = 3,76$$

Mängden kvävgas som tillförs rökgasen till följd av luftöverskottet fås därmed enligt:

$$n_{N_2 \text{ öv}} = 3,76 \times n_{O_2 \text{ öv}}$$

Ekvation A.15

Partialtryck av vatten i luften

Om luften i omgivningen vore mättad på vattenånga skulle vattnets partialtryck kunna beräknas enligt (Wester, 1998, sidan 290):

$$p_{H_2O \text{ luft mättad}} = e^{\frac{B_{Par}}{(T_{OMG} + 273,15) - A_{Par}} - C_{Par}}$$

Ekvation A.16

Den relativa luftfuktigheten, RH, anger hur många procent vattenångan i luften utgör av den maximala mängden vatten som kan finnas i ångfas vid en viss temperatur. Det verkliga partialtrycket som råder för vattenångan i luften erhålls därför genom att multiplicera partialtrycket, som skulle råda vid mättnad, med den relativa luftfuktigheten.

$$p_{H_2O \text{ luft}} = \frac{RH_{OMG}}{100} \times p_{H_2O \text{ luft mättad}} \times 10^6$$

Ekvation A.17

(Observera att $p_{H_2O \text{ luft mättad}}$ anges i MPa medan $p_{H_2O \text{ luft}}$ anges i Pa.)

Total rökgasvolym före rökgaskondensorn

Total rökgasvolym fås som summan av den stökiometriskt bildade rökgasmängden och luftöverskottet:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{RG1} &= n_{C_{BR}} \times mv_{CO_2} + n_{S_{BR}} \times mv_{SO_2} + \left(\frac{1}{2} \times n_{N_{BR}} \times \frac{79}{21} \times n_{O_{2stök}} \right) \times mv_{N_2} + \dots \\ &\dots mv_{H_2O} \times \left(n_{H_2O_{BR}} + \frac{1}{2} \times n_{H_{BR}} + n_{H_2O_{stök}} \right) + \dots \\ &\dots \dot{V}_{RG1} \times \left(n_{H_2O_{öv}} \times mv_{H_2O} + n_{O_2_{öv}} \times \left(mv_{O_2} + \frac{79}{21} \times mv_{N_2} \right) \right) \end{aligned}$$

Ekvation A.18

Substansmängd av vatten tillfört via luften

För att kunna få ett uttryck för mängden vatten som tillförs via luften har Ekvation A. 16, Ekvation A. 17, Ekvation A. 18 och följande tre samband utnyttjats:

Totala substansmängden vatten fås som summan av vattnet som tillförs med det stökiometriskt luftbehovet och vattnet som tillförs med luftöverskottet.

$$n_{H_2O_{luft}} = n_{H_2O_{stök}} + n_{H_2O_{öv}} \times V_{RG1}^{\bullet}$$

Ekvation A.19

Om den ideala gaslagen anses tillämplig i detta sammanhang erhålls att

$$\frac{n_x}{p_x} = \frac{V_{tot}}{R \times T}$$

Uttrycket får samma värde oavsett vilken av komponenterna i en specifik gasblandning som undersöks. Detta medför att mängden vattenånga och syrgas som tillförs via luftöverskottet förhåller sig till varandra på samma sätt som vattnet och syrgasen i den stökiometriskt tillförda luften eftersom den ursprungliga luften har samma förutsättningar i båda fallen.

$$n_{H_2O_{öv}} = n_{H_2O_{stök}} \times \frac{n_{O_2_{öv}}}{n_{O_2_{stök}}}$$

Ekvation A.20

Totala substansmängden vatten förhåller sig till sitt partialtryck på samma sätt som mängden av övriga gaser i luften förhåller sig till det totala trycket, minskat med vattnets partialtryck. Om det antas att luften, förutom vattenånga, bara består av syre och kväve samt att syret och kvävet i luften förhåller sig som 21:79 fås följande uttryck för den totala substansmängden vatten som tillförs förbränningen via luften:

$$n_{H_2O_{luft}} = \frac{p_{H_2O_{luft}}}{p_{OMG} - p_{H_2O_{luft}}} \times \frac{21 + 79}{21} \times \left(n_{O_2_{stök}} + n_{O_2_{öv}} \times V_{RG1}^{\bullet} \right)$$

Ekvation A.21

Den resulterande ekvationen för substansmängd vattenånga tillförd via förbränningsluften blir:

$$\begin{aligned}
n_{H_2O_{luft}} = & \frac{RH_{OMG} \times p_{H_2O_{luftmättad}} \times 10^6 \times n_{O_2_{stök}} \times \dots}{n_{O_2_{stök}} \times \left(1 - n_{O_2_{öv}} \times \left[mv_{O_2} + \frac{79}{21} \times mv_{N_2} \right] \times \dots \right.} \\
& \left. \dots \left[n_{O_2_{stök}} \times \left[1 - n_{O_2_{öv}} \times \left\{ mv_{O_2} + \frac{79}{21} \times mv_{N_2} \right\} + \dots \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \dots n_{O_2_{öv}} \times \left\{ \begin{aligned} & n_{C_{BR}} \times mv_{CO_2} + n_{S_{BR}} \times mv_{SO_2} + \dots \\ & \dots \left(\frac{1}{2} \times n_{N_{BR}} + \frac{79}{21} \times n_{O_2_{stök}} \right) \times mv_{N_2} \end{aligned} \right\} + \dots \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \dots mv_{H_2O} \times \left\{ n_{H_2O_{BR}} + \frac{1}{2} \times n_{H_{BR}} \right\} \right\} \right] \right) \times \dots \\
& \left(n_{O_2_{stök}} \times \left[1 - n_{O_2_{öv}} \times \left\{ mv_{O_2} + \frac{79}{21} \times mv_{N_2} \right\} + \dots \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \dots n_{O_2_{öv}} \times \left\{ \begin{aligned} & n_{C_{BR}} \times mv_{CO_2} + \dots \\ & \dots n_{S_{BR}} \times mv_{SO_2} + \dots \\ & \dots \left(\frac{1}{2} \times n_{N_{BR}} + \frac{79}{21} \times n_{O_2_{stök}} \right) \times mv_{N_2} \end{aligned} \right\} + \dots \right] \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \dots mv_{H_2O} \times \left\{ n_{H_2O_{BR}} + \frac{1}{2} \times n_{H_{BR}} \right\} \right\} \right] \right) \times \dots \\
& \dots 21 \times \left(p_{OMG} - \frac{RH_{OMG}}{100} \times p_{H_2O_{luftmättad}} \times 10^6 \right) - \dots \\
& \dots mv_{H_2O} \times n_{O_2_{öv}} \times RH_{OMG} \times p_{H_2O_{luftmättad}} \times 10^6 \times \dots \\
& \left(n_{O_2_{öv}} \times \left[\begin{aligned} & n_{C_{BR}} \times mv_{CO_2} + \dots \\ & \dots n_{S_{BR}} \times mv_{SO_2} + \dots \\ & \dots \left(\frac{1}{2} \times n_{N_{BR}} + \frac{79}{21} \times n_{O_2_{stök}} \right) \times mv_{N_2} \end{aligned} \right] + \dots \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \dots mv_{H_2O} \times \left\{ n_{H_2O_{BR}} + \frac{1}{2} \times n_{H_{BR}} \right\} \right\} \right] \right) \times n_{O_2_{stök}} + \dots \\
& \left(\dots \left[1 - n_{O_2_{öv}} \times \left\{ mv_{O_2} + \frac{79}{21} \times mv_{N_2} \right\} \right] \times n_{O_2_{stök}} \right)
\end{aligned}$$

Ekvation A.22

Rökgaskomponenternas substansmängder

Antalet mol av en bildad rökgasförening vid stökiometrisk fullständig förbränning fås ur föreningens kemiska formel och ingående komponenters substansmängder: Koldioxid består av en kolatom och två syreatomer. Vid fullständig förbränning bildas alltså lika många mol koldioxid som det fanns kolatomer i bränslet. På samma sätt blir substansmängden svaveldioxid lika med mängden svavel i bränslet. Substansmängden vatten som bildas utifrån väteinnehållet i bränslet blir bara hälften så stor som substansmängden väte i bränslet eftersom det ingår två väteatomer i varje vattenmolekyl. Även kvävgasmängden från bränslet blir hälften så stor som substansmängden kväveatomer i bränslet. (Notera att det antagits att inga kväveoxider bildas vid förbränningen, utan att allt kväve föreligger som kvävgas. Det har även antagits att alla kolatomer förbränns fullständigt till koldioxid.)

För att nå fullständig förbränning i praktiken krävs ett överskott av syre till processen, detta överskott resulterar direkt i den mängd syre som återfinns i rökgasen. Den beräknade mängden syrgas från luftöverskottet, se ovan, behöver dock först multipliceras med den totala rökgasvolymen:

$$n_{O_2 RG} = n_{O_2 \ddot{O}V} \times \left[\frac{mv_{H_2O} \times (n_{H_2O BR} + \frac{1}{2} n_{H BR} + n_{H_2O luft}) + \dots}{1 - n_{N_2 \ddot{O}V} \times mv_{N_2} - mv_{O_2} \times n_{O_2 \ddot{O}V}} \right]$$

Ekvation A.23

Förbränningsluften kommer även att bidra med ett kvävetillskott till rökgasen. Substansmängden kvävgas erhålls genom att addera tillförseln av kvävgas från det stökiometriska lufttillskottet med kvävgasen från luftöverskottet. Den totala substansmängden kvävgas i rökgasen fås som summan av kvävgas från bränslet och från förbränningsluften.

$$n_{N_2 RG} = \frac{1}{2} n_{N BR} + \frac{79}{21} n_{O_2 stök} + n_{N_2 \ddot{O}V} \times \left[\frac{mv_{H_2O} \times (n_{H_2O BR} + \frac{1}{2} n_{H BR} + n_{H_2O luft}) + \dots}{1 - n_{N_2 \ddot{O}V} \times mv_{N_2} - mv_{O_2} \times n_{O_2 \ddot{O}V}} \right]$$

Ekvation A.24

För att kunna beräkna den totala substansmängden av vatten i rökgasen före rökgaskondensorn adderas vattenmängden från bränslefukten och den bildade vattenånga från vätet i bränslet med mängden vatten som tillförs via förbränningsluften.

$$n_{H_2O RG1} = n_{H_2O BR} + \frac{1}{2} n_{H BR} + n_{H_2O luft}$$

Ekvation A.25

Efter rökgaskondensorn är sammansättningen av rökgasen teoretiskt den samma som före rökgaskondensorn, förutom vad det gäller vattenånga. För att ta reda på den nya mängden vattenånga beräknas partialtrycket för vattenånga efter rökgaskondensorn. Eftersom vatten tillsätts rökgaserna i skrubbern och hela idén

med rökgaskondensorn bygger på att daggpunkten skall nås antas att mättnad råder i rökgasen efter rökgaskondensorn. Partialtrycket fås enligt Ekvation A. 16:

$$p_{H_2O\,RG2} = e^{\frac{B_{Par}}{(T_{RG2} + 273,15) - A_{Par}} - C_{Par}}$$

Summan av partialtrycken för de övriga rökgaskomponenter fås som differensen mellan det totala trycket i rökgasen och partialtrycket för vattenånga. Substansmängden vatten i rökgaserna fås på samma sätt som i Ekvation A. 20 ur sambandet att partialtryck och substansmängd har samma kvot i rökgasen, oavsett komponent.

$$n_{H_2O\,RG2} = \frac{p_{H_2O\,RG2}}{p_{RG2} - p_{H_2O\,RG2}} \times (n_{CO_2\,RG} + n_{SO_2\,RG} + n_{N_2\,RG} + n_{O_2\,RG})$$

Ekvation A.26

Massflödet av torra rökgaser

Massflödet av de torra rökgaserna antas vara lika stort före rökgaskondensorn som efter. Flödet fås som summan av massan hos alla rökgaskomponenterna, utom vattenånga:

$$m_{iRG} = n_{O_2\,RG} \times M_{O_2} + n_{CO_2\,RG} \times M_{CO_2} + n_{SO_2\,RG} \times M_{SO_2} + n_{N_2\,RG} \times M_{N_2}$$

Ekvation A.27

Massflödet av vatten

Massflödet av vatten före rökgaskondensorn:

$$m_{H_2O\,RG1} = n_{H_2O\,RG1} \times M_{H_2O}$$

Ekvation A.28

Massflödet av vatten efter rökgaskondensorn:

$$m_{H_2O\,RG2} = n_{H_2O\,RG2} \times M_{H_2O}$$

Ekvation A.29

Totalt massflöde

Det totala rökgasflödet erhålls som summan av massflödet av de torra rökgaserna och massflödet av vatten, före respektive efter rökgaskondensorn.

Massandelar

Massandelarna av ett ämne fås som kvoten mellan rökgaskomponentens massa och det totala massflödet av rökgaser.

$$\mu_x = \frac{n_x \times M_x}{m_{RG}}$$

Ekvation A.30

μ_x är massandel av komponent x.

n_x är substansmängden av komponent x i rökgasen, angivet i kmol per kg bränsle.

M_x är molekylvikten för komponent x, angivet i kg per kmol.

m_{RG} är det totala massflödet av rökgaser, angivet i kg per kg bränsle.

Specifik värmekapacitet, c_p , för rökgaserna

Den specifika värmekapaciteten för rökgaserna före och efter rökgaskondensorn erhålls ur de enskilda gaskomponenternas respektive värmekapaciteter och komponenternas massandelar i gasblandningen (Alvarez, 1990, sidan 265):

$$C_{pRG} = \sum_1^n \mu_x \times C_{px}$$

Ekvation A.31

μ_x är massandelen av komponent x.

C_{px} är den specifika värmekapacitativiteten för komponent x, anges i kJ per kmol och K.

C_{RG} är den viktade värmekapacitativiteten för rökgasen, anges i kJ per kmol och K.

Den specifika värmekapacitativiteten för kväve (råkväve), syre, koldioxid och vattenånga kan beräknas enligt (Wester, 1998, sidan 288):

$$C_{px} = \sum_{n=1}^{n=7} a_n^c \times \left(\frac{T_{RG} + 273,15}{1000} \right)^n$$

Ekvation A.32

Konstanterna a_n^c hämtas ur Tabell B.7. För uppskattning av den specifika värmekapaciteten hos svaveldioxid före kondensorn har värden ur Tabell B.8 hämtats för temperaturen 450 K. Detta motiveras med att temperaturen ut från pannan ligger kring 180°C (453 K)

(<http://www.baxi.se/UppladdadeFiler/Manualer/bonus-S.137487.02.03-06-01.pdf>, 2004-08-23). För beräkningar av den specifika värmekapaciteten hos svaveldioxid efter kondensorn har värden svarande mot temperaturen 300 K valts i Tabell B.8. Detta motiveras med att rökgastemperaturen kommer att sänkas till under vattnets daggpunkt, vilken förväntas hamna under 50°C (323 K).

Kondensatflöde

Kondensatflödet, netto, fås som differensen mellan massflödet av vatten före respektive efter rökgaskondensorn:

$$m_{KOND} = M_{H_2O} \times (m_{H_2O\,RG1} - m_{H_2O\,RG2})$$

Ekvation A.33

Ångbildningsvärme

C_{KOND} är ångbildningsvärmen för vatten. Ångbildningsvärme och kondensationsvärme är lika stora och beräknas ur Ekvation A.34. Till Ekvation A.7 används Tabell B.8 för värden på konstanterna. Ekvation A.34 blir då giltig för temperaturintervallet 273,16 K till 647,3 K (viket motsvarar från 0°C till ungefär 374°C) (Wester, 1998, sidan 292).

$$h_{Kondens} = Y(S) \times 2500,9$$

Ekvation A.34

Temperaturen som används är rökgastemperaturen efter rökgaskondensorn.

Luftfaktorn

Luftfaktorn beräknas som kvoten mellan verklig mängd tillförd luft och stökiometriskt behov av lufttillförsel.

BILAGA B: BETECKNINGAR OCH DATA SOM ANVÄNDS I BILAGA A

Jämför även beteckningarna mot Bilaga C.

Tabell B. 1: *Mät signaler och respektive enheter*

Beteckning	Beskrivning	Mätinstrument	Enhet
\dot{m}_{BR}	Bränsleflöde	-	kg/h
O_2	Syrehalten i rökgaserna	OXITEC	Vol-% på fuktig gas
RH_{OMG}	Relativa fukthalten i omgivningen	Hygrotest 650	%
T_{OMG}	Temperaturen hos omgivningen	Hygrotest 650	°C
T_{RG1}	Temperaturen på rökgasen efter pannan	Pt-100	°C
T_{RG2}	Temperaturen på rökgasen efter rökgaskondensorn	Pt-100	°C
T_{VAb}	Temperaturen på vattnet från pannan till ackumulatortanken	Pt-100	°C
T_{VAca}	Temperaturen på vattnet från rökgaskondensorn till pannan	Pt-100	°C
T_{VAd}	Temperaturen på vattnet från ackumulatorn in i rökgaskondensorn	Pt-100	°C
$\dot{V}_{VA\ RGK}$	Vattnets volymflöde genom rökgaskondensorn	GPI vippskivemätare	m ³ /h

Tabell B. 2: Konstanter till beräkningarna för vattnets entalpi, Ekvation A.7, giltig i temperaturintervallet $300K \leq T < 600K$ (Wester, 1998, sidan 292)

Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
A_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	0,8839230108	-
B_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	0	-
C_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	0	-
D_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	0	-
E_1	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	-2,67172935	-
E_2	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	6,22640035	-
E_3	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	-13,1789573	-
E_4	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	-1,91322436	-
E_5	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	68,7937653	-
E_6	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	-124,819906	-
E_7	Konstant till beräkningarna av vattnets entalpi	72,1435404	-

Tabell B. 3: Konstanter till beräkningarna för vattenångans entalpi, Ekvation A.7, giltig i temperaturintervallet $273,16K \leq T < 647,3K$ (Wester, 1998, sidan 292)

Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
A_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	1,0	-
B_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	0,457874342	-
C_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	5,08441288	-
D_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	-1,48513244	-
E_1	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	-4,81351884	-
E_2	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	2,69411792	-
E_3	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	-7,39064542	-
E_4	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	10,4961689	-
E_5	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	-5,46840036	-
E_6	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	0	-
E_7	Konstant till beräkningarna av vattenångans entalpi	0	-

Tabell B. 4: Konstanter till beräkningarna för vattnets densitet, Ekvation A.7, giltig i temperaturintervallet $273,16K \leq T < 647,3K$ (Wester, 1998, sidan 291)

Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
A_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	1,0	-
B_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	-1,9153882	-
C_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	12,015186	-
D_{Ent}	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	-7,8464025	-
E_1	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	-3,888614	-
E_2	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	2,0582238	-
E_3	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	-2,0829991	-
E_4	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	0,82180004	-
E_5	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	0,47549742	-
E_6	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	0	-
E_7	Konstant till beräkningarna av vattnets densitet	0	-

Tabell B. 5: Använda data för bränslet

Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
A	Det torra bränslets askhalt	0,5	Vikt-% på TS
C	Det torra bränslets kolhalt	49,7	Vikt-% på TS
f	Bränslets fukthalt	25,5	Vikt-% på fuktigt bränsle
H	Det torra bränslets vätehalt	6,1	Vikt-% på TS
N	Det torra bränslets kvävehalt	0	Vikt-% på TS
O	Det torra bränslets syrehalt	43,7	Vikt-% på TS
S	Det torra bränslets svavelhalt	0	Vikt-% på TS

Tabell B. 6: Mol- och molekylvikter

Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
M_H	Molvikten för väte	1	kg/kmol
M_O	Molvikten för syre	16	kg/kmol
M_C	Molvikten för kol	12	kg/kmol
M_S	Molvikten för svavel	32	kg/kmol
M_N	Molvikten för kväve	14	kg/kmol
M_{H_2O}	Molekylvikten för vatten	18	kg/kmol
M_{CO_2}	Molekylvikten för koldioxid	44	kg/kmol
M_{N_2}	Molekylvikten för kvävgas	28	kg/kmol
M_{O_2}	Molekylvikten för syrgas	32	kg/kmol
M_{SO_2}	Molekylvikten för svaveldioxid	64	kg/kmol

Tabell B. 7: Koefficienter till Ekvation A. 32, beräkning av specifik värmekapacitet (Wester, 1998, sidan 288)

Koefficient	Råkväve	Syrgas	Koldioxid	Vattenånga
a_{-1}^c	0	0	0	0,073147600
a_0^c	28,151964	33,051759	17,640049	27,885805
a_1^c	13,197123	-41,834166	93,726944	8,4430197
a_2^c	-74,482113	148,02410	-130,3766	11,985297
a_3^c	189,98363	-205,02229	153,97055	-16,092233
a_4^c	-226,61680	145,36800	-139,99603	13,636273
a_5^c	142,04175	-52,290720	83,151862	-6,4729000
a_6^c	-45,640429	7,5770768	-27,578508	1,1891256
a_7^c	5,9487537	0	3,8298136	0

Tabell B. 8: Specifik värmekapacitet vid olika temperatur för några gaser vid trycket 101,325 kPa (Wester, 1998, sidorna 148-149)

	200 K	250 K	273,15 K	300 K	350 K	400 K	450 K
Koldioxid	32,377	34,850	35,981	37,237	39,450	41,349	43,050
Kväve	29,128	29,133	29,136	29,144	29,180	29,270	29,400
Syre	29,149	29,230	29,291	29,404	29,725	30,128	30,595
Svaveldioxid	36,048	37,949	38,895	39,917	41,788	43,543	45,217
Vatten	33,365	33,430	33,499	33,607	33,900	34,273	34,735

Tabell B. 9: Konstanter till beräkningarna för ångbildningsvärme, Ekvation A.7, giltig i temperaturintervallet $273,16\text{K} \leq T < 647,3\text{K}$ (Wester, 1998, sidan 292)

Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
A_{Ent}	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	0	-
B_{Ent}	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	0,779221	-
C_{Ent}	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	4,62668	-
D_{Ent}	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	-1,07931	-
E_1	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	-3,87446	-
E_2	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	2,94553	-
E_3	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	-8,06395	-
E_4	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	11,5633	-
E_5	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	-6,02884	-
E_6	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	0	-
E_7	Konstant till beräkningarna av ångbildningsvärme	0	-

Tabell B. 10: Övriga utnyttjade konstanter samt deras värde och tillhörande enhet

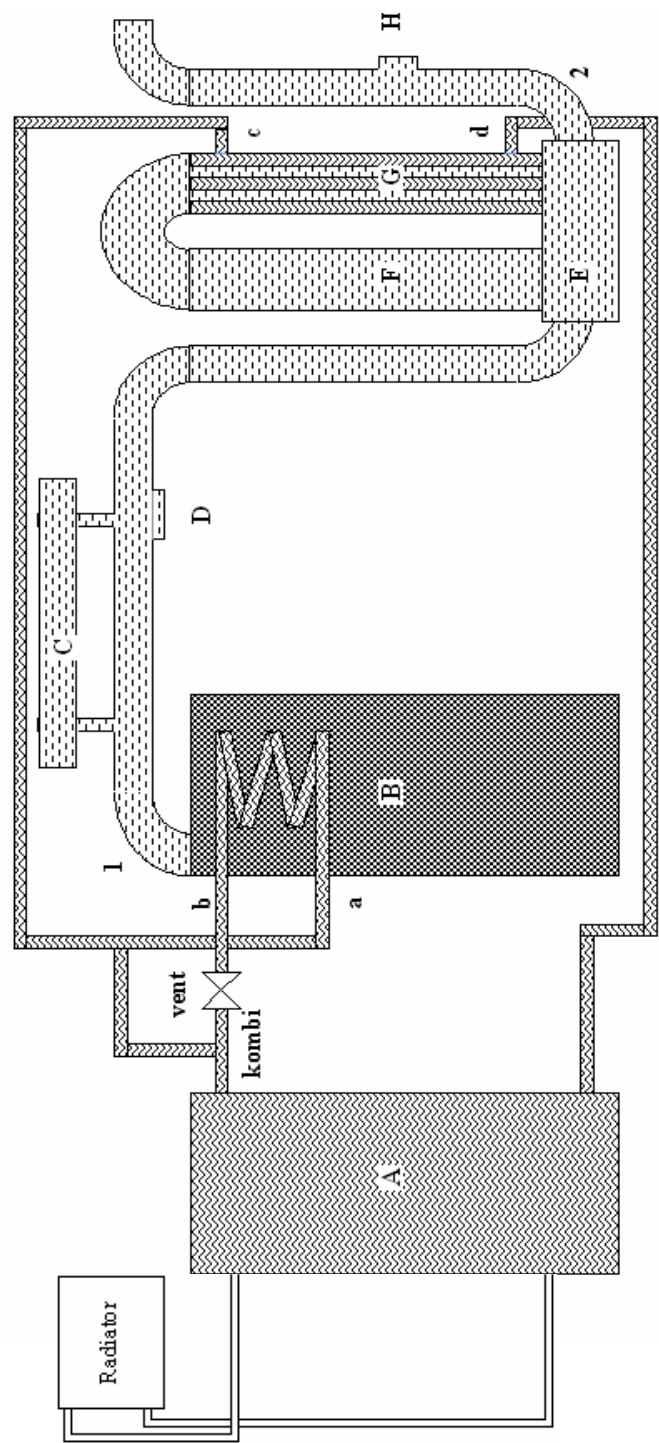
Beteckning	Beskrivning	Värde	Enhet
A_{Par}	Konstant till beräkningarna av vattenångans partialtryck. $0,000611 \leq \text{tryck} < 12,33 \text{ MPa}$, $273,16 \leq \text{temperatur} < 600 \text{ K}$. (Wester, 1998, sidan 290)	42,667	-
B_{Par}	Konstant till beräkningarna av vattenångans partialtryck. $0,000611 \leq \text{tryck} < 12,33 \text{ MPa}$, $273,16 \leq \text{temperatur} < 600 \text{ K}$. (Wester, 1998, sidan 290)	-3892,70	-
C_{Par}	Konstant till beräkningarna av vattenångans partialtryck. $0,000611 \leq \text{tryck} < 12,33 \text{ MPa}$, $273,16 \leq \text{temperatur} < 600 \text{ K}$. (Wester, 1998, sidan 290)	-9,48654	-
C_{KOND}	Ångbildningsvärmets för vatten vid 25°C (Wester, 1998, sidan 9)	2545,8	kJ/kg
mv_{CO_2}	Molvolymer för koldioxid (Wester, 1998, sidan 144)	22,2461	m ³ /kmol
mv_{H_2O}	Molvolymer för vattenånga (Wester, 1998, sidan 144)	21,629	m ³ /kmol
mv_{N_2}	Molvolymer för kvävgas (Wester, 1998, sidan 144)	22,4037	m ³ /kmol
mv_{O_2}	Molvolymer för syrgas (Wester, 1998, sidan 144)	22,3919	m ³ /kmol
mv_{SO_2}	Molvolymer för svaveldioxid (Wester, 1998, sidan 144)	21,9274	m ³ /kmol
P_{OMG}	Angivet trycket i omgivningen	101 325	Pa
P_{RG2}	Angivet tryck i rökgaserna efter rökgaskondensorn	101 325	Pa

Tabell B. 11: *Storheter som används vid beräkningar i BILAGA A, samt tillhörande enheter*

Beteckning	Beskrivning	Enhet
$C_{p\,tRG1}$	Specifikvärmekapacitet för de torra rökgaserna före rökgaskondensorn	kJ/(kg K)
$C_{p\,tRG2}$	Specifikvärmekapacitet för de torra rökgaserna efter rökgaskondensorn	kJ/(kg K)
h_{RG1}	Entalpin för vattenånga före rökgaskondensorn	kJ/kg
h_{RG2}	Entalpin för vattenånga efter rökgaskondensorn	kJ/kg
h_{VAa}	Vattnets entalpi i ackumulatorkretsen efter rökgaskondensorn och före pannan	kJ/kg
h_{VAb}	Vattnets entalpi i ackumulatorkretsen efter pannan	kJ/kg
h_{VAd}	Vattnets entalpi i ackumulatorkretsen före rökgaskondensorn	kJ/kg
$h_{VA\,KOMBI}$	Vattnets entalpi i blandningspunkten efter rökgaskondensorn och efter pannan, men före ackumulatorm	kJ/kg
$m_{H_2O\,RG1}$	Massflödet av vattenånga i rökgasen före rökgaskondensorn	kg/kg bränsle
$m_{H_2O\,RG2}$	Massflödet av vattenånga i rökgasen efter rökgaskondensorn	kg/kg bränsle
m_{KOND}	Massflödet av kondensat ut ur rökgaskondensorn	kg/kg bränsle
$m_{VA\,PANNA}$	Massflödet av vatten genom pannan	kg/h
$m_{VA\,RGK}$	Massflödet av vatten genom rökgaskondensorn	kg/h
$m_{\dot{A}}$	Massflödet av vattenånga i rökgasen före rökgaskondensorn	kg/kg bränsle
m_{tRG}	Massflödet av torr rökgaser före likväl som efter rökgaskondensorn	kg/kg bränsle
n_C	Substansmängd av kol i bränslet	kmol/kg bränsle
$n_{CO_2\,RG}$	Substansmängd av koldioxid i rökgaserna före likväl som efter rökgaskondensorn	kmol/kg bränsle
n_H	Substansmängd av väte i bränslet, utöver vätet bundet som vatten	kmol/kg bränsle
n_{H_2O}	Substansmängd av vatten i bränslet	kmol/kg bränsle
$n_{H_2O\,luft}$	Tillskott av vattenånga via lufttillförseln	kmol/kg bränsle
$n_{H_2O\,RG1}$	Substansmängd av vattenånga i rökgaserna före rökgaskondensorn	kmol/kg bränsle
$n_{H_2O\,RG2}$	Substansmängd av vattenånga i rökgaserna efter rökgaskondensorn	kmol/kg bränsle
n_N	Substansmängd av kväve i bränslet	kmol/kg bränsle
$n_{N_2\,RG}$	Substansmängd av kvävgas i rökgaserna före likväl som efter rökgaskondensorn	kmol/kg bränsle
$n_{N_2\,ÖV}$	Den substansmängd av kvävgas som tillförs rökgaserna till följd av luftöverskottet	kmol/m ³ RG tot

n_O	Substansmängd av syre i bränslet, utöver syret bundet som vatten	kmol/kg bränsle
$n_{O_2 RG}$	Substansmängd av syrgas i rökgaserna före likväl som efter rökgaskondensorn	kmol/kg bränsle
$n_{O_2 stök}$	Det stökiometriska behovet av syrgastillförsel via luften	kmol/kg bränsle
$n_{O_2 öv}$	Den substansmängd av syrgas som tillförs rökgaserna till följd av luftöverskottet	kmol/m ³ RG tot
n_S	Substansmängd av svavel i bränslet	kmol/kg bränsle
$n_{SO_2 RG}$	Substansmängd av svaveldioxid i rökgaserna före likväl som efter rökgaskondensorn	kmol/kg bränsle
$P_{H_2O luft}$	Vattenångans partialtryck i luften	Pa
$P_{H_2O luft mättad}$	Vattenångans partialtryck i luften, om mättnad skulle råda	MPa
$P_{H_2O RG2}$	Vattenångans partialtryck efter rökgaskondensorn	Pa
P_{Panna}	Upptagen effekt i pannan	kJ/h
$P_{RGK avg}$	Avgiven effekt från rökgasen vid passagen genom rökgaskondensorn	kJ/h
$P_{RGK uppt}$	Upptagen effekt i rökgaskondensorn	kJ/h
T_r	Den reducerade temperaturen av T	K
\bullet		
V_{RG1}	Rökgasens volymflöde före rökgaskondensorn	m ³ /s
$Y(S)$	Hjälpstorhet vid beräkning av vattnets entalpi	-
ρ_{VA}	Densiteten på vattnet i ackumulatorkretsen	kg/m ³
η_{RGK}	Verkningsgraden hos rökgaskondensorn	%

BILAGA C: UPPSTÄLLNING

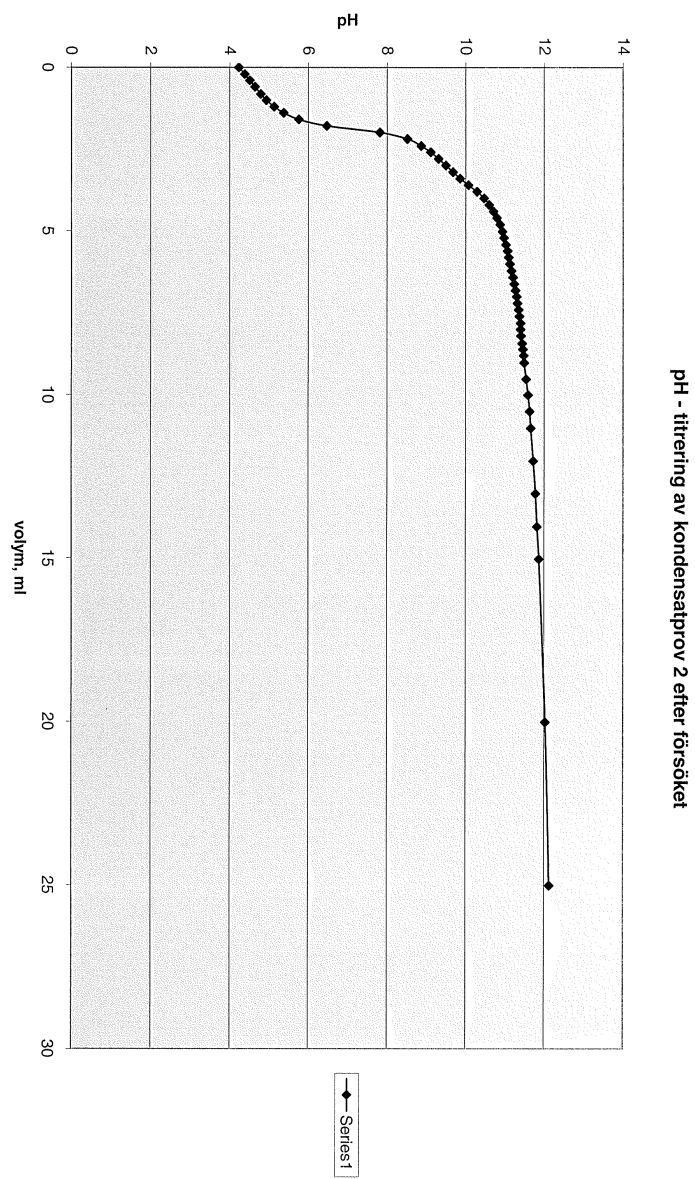


- A: Ackumulator
B: Panna
C: Fukthalms ääre
D: Utag för stoffin ätning före rökaskondensom
E: Uppsamlingsskäril för kondensat
F: Scrubber
G: Rökaskondensor
H: Utag för stoffin ätning efter rökaskondensom

- a: Inkommande vatten till pannan från rökaskylaren
b: Utgående vatten från pannan till ackumulator
c: Utgående vatten från rökaskylaren till pannan
d: Inkommande vatten till rökaskylaren från ackumulator
1: Mätvärden efter pannan respektive före rökaskondensom
2: Mätvärden efter rökaskondensom
kombi: Eländningspunkt för vatten från pannan och rökaskondensor
vent: Temperaturstyrd vent, öppnar vid 80°

BILAGA D: SYRA- BASTITRERING

Analysen är utförd och sammanställd av Gulaim Seisenbaeva (2004).



BILAGA E: INSTRUKTION TILL STOFTPROVTAGNING

METLAB miljö AB
Lars Månsson

Kortfattad måtanvisning för
STL Combi Stoftprovtagare

sid 1(4)
2000-10-12

Kortfattad instruktion för STL Combi Stoftprovtagare

- 1 Förbedelser i laboratoriet
- 2 Förbedelser på mätplatsen
- 3 Provets start
- 4 Provets stopp
- 5 Avslutning på mätplatsen
- 6 Avslutning i laboratoriet

1 Förbedelser i laboratoriet

1.1 Invägning av provtagningsfilter

- Välj filterkvalitet, t ex glasfiberfilter, kvartsfiberfilter eller teflonfilter
- Placera ut erforderligt antal diskade kassetter, stödringar och transportaskar på en väl rengjord bordsyta
- Ladda kassetterna parvis och placera dem i sina transportaskar
- Märk askens lock och botten med provnummer
- Torka transportaskarna med locken på glänt i värmeskåp vid 105-110 °C under två timmar
- Placera transportaskarna med stängda lock i exsickator för svalning till rumstemperatur
- Kalibrera analysvägen och kontrollera med kontrollvikt.
- Placera askarna intill analysvägen och väg i rask följd samtliga filteraskar. Tag även med olika typer av blankfilter. Vikterna förs in i journalblad i vägningspärmen. Dokumentera även barometertryck, rumstemperatur och luftfuktighet.
- Lägg filterasken i plastpåse och försegla med etikett som förses med datum och signatur

1.2 Invägning av torkmedel

- Uppskatta behovet av torkmedel, antal nätpåsar (1-2 prov/nätpåse) och mängd per nätpåse (700-1800 g/nätpåse)
- Väg in erforderlig mängd torkmedel i nätpåsar
- Lägg varje nätpåse i en plastpåse (frys-kvalitet) och förslut

1.3 Val av provtagningsutrustning

Gå igenom de förutsättningar som kan påverka mätutrustningens utförande avseende

- Provtagningssond: längd, spetsstorlek, filterhållartyp, typ av sondfäste, tättningsbehov
- Slang/kabellängder, varm vakuumslang eller förkondenseringsenhet (vid frysrisk)
- Provtagningskapacitet (för att innehålla kvalitetskriterierna)

1.4 Kontroll av mätutrustning

- Kontrollera pumpkapacitet (max flöde och vakuum)
- Bedöm visuellt kvalitet hos slangar och kablers ändar/kontakter
- Temperaturinstrumentets funktion samt att reservbatteri finns med

1.5 Packning enligt packlista

2 Förbedelser på mätplatsen

2.1 Iordningställ markstationen

- Välj en lämplig placering av markstationens centrallåda och pumpenhet med hänsyn till avstånd till mätuttag, omgivningstemperatur och andra faktorer
- Placera centrallådan på bordet och öppna lock och klaff
- Om risk för utkondensering av vatten föreligger skall kondensfälla, kondensflaska och eventuellt även värmväxlare anslutas till centrallådan. Anslut vatten och avloppsledningar till värmväxlaren om sådan nyttjas.
- Placera pumpenheten på marken/golvet under eller intill bordet. Anslut de två vakuumslangarna till/från centrallådan.
- Drag fram el (240V/10 A) till en förgreningsdosa på instrumentbordet. Anslut pumpen.
- Anslut vid behov av sondvärme en effektregulator till elförgreningsdosa.
- Kontrollera pumpkapaciteten och tätheten internt hos markstationen
- Kontrollera och justera vid behov nolltrycksmanometerns och den statiska tryckmanometerns nollpunkter
- Stäng reglerventil och stäng av pumpen
- Kontrollväg en nätpåse med torkmedel och notera vikten på fältblanketten
Placera nätpåsen i torktornet

2.2 Iordningställ kanalstationen

- Montera provtagningssonden på ett stativ i närheten av mätuttagen
- Montera spetshuvud
- Ladda en filterhållare och notera vikt och nummer på fältblanketten.
- Montera filterhållaren på sonden. Använd alltid isolerhätta.
- Öppna och rengör samtliga mätuttag noggrant med stålborste
- Montera sondfästen. Stäng mätuttagen
- Bestäm antalet mätpunkter. Märk upp sondröret med mätpunkternas lägen
- Mät med pitotrör det dynamiska trycket och gastemperaturen i mätplanet
- Använd diagram för att välja optimal sondspetsstorlek
- Montera sondspetsen

2.3 Förbindelseledningar mellan kanalstation och markstation

- Drag följande ledningar mellan kanalstation och markstation:
vakuumslang, tvillingslang för nolltryck, termoelementkablar för gastemperatur och filterhållartemperatur, elkabel för sondvärme
- Anslut vakuumslangen till filterhållarens utloppsrör
- Anslut tvillingslangen till sondens trycknipplar
- Anslut elkabeln till effektregulatorn och till sonden
- Anslut termoelementkablar mellan centrallådans panelkontakter och filterhållarens termoelement och termoelementet för gastemperatur. Placera termoelementet i sitt mätuttag.
- Separat elkabel till varmluftpistol om eluttag ej finns närmare sondenstativets placering

2.4 Förberedelser och kontroller inför provstart

- Kontrollera trycksystemets täthet inkl tvillingslangen
- Kontrollera provtagningssystemets täthet genom först starta pumpen, därefter öppna reglerventilen något och sedan blockera sondspetsen. Trycksystemets trevägsventil skall vara i driftläge (viktigt). Notera vakuum (bar) och läckageflöde genom gasuret (l/min)
- Starta sondvärmning med läget 3-4 A på effektregulatorn och värmningen av filterhållaren med läge ca 160 °C på varmluftpistolen.
- Kontrollera att rätt driftförhållanden råder och informera driftpersonalen om provtider

3 Provtagning

3.1 Provstart

- Notera på fältbanketten för stoftprovtagning följande uppgifter
Uppdragsdata, provnummer, mätplan, kanaldimension, sondspetsens nr, sondspetsstorlek, barometertryck, filterdata, gasurets sifferställning och starttiden.
- Starta pumpen. Reglerventilen skall vara stängd
- Demontera och stäng av varmluftpistolen
- För in sonden till mätpunkt 1. Vid stort undertryck i kanalen (>1 kPa) kan man skydda filtret genom att ha ett litet flöde genom systemet under sondinförseln
- Öppna reglerventilen vid förutbestämd tidpunkt till dess att nolltryck erhålles
- Notera temperaturer och tryck på första mätpunktens rad

3.2 Under provet

- Flytta sonden till nästa mätpunkt med jämna tidsmellanrum och notera samtidigt tidpunkt, gasurets sifferställning samt övriga temperaturer och tryck.
- Vid byte av mätlinje stängs reglerventilen, sonden toges ut och förs in i nästa mätlinjes första position. Notera tidpunkt, gasurställning och öppna reglerventilen. Notera övriga värden. Vid stort statiskt undertryck kan man för att skydda filtret ha ett litet provgasflöde genom systemet även vid utförseln av sonden.
- Övervaka under hela provtagningen nolltrycksmanometerns utslag och justera med reglerventilen vid behov. Vid mätningar på processer med variabelt gasflöde kan en automatisk motorventil nyttjas.

3.3 Provets avslut

- Läs av temperaturer och tryck och aktuell stopptid
- Stäng reglerventilen
- Läs av och notera gasurets sifferställning
- För ut sonden och placera den på stativet. Kläm fast sonden
- Rengör sonden genom att knacka försiktigt utefter den samtidigt som reglerventilen är fullt öppen.
- Demontera filterhållaren
- Transportera filterhållaren till lämplig plats för att ta ur kassetterna och placera dem i sin transportask. Pensla stoft från distansringens inloppsrör och innerytor ned i transportasken.
- Rengör sonden med borstviska. Överför lösgjort stoft till transportasken. Lägg asken i sin plastpåse och tejpa omkring hårt så burken ej kan öppnas. Sonden kan också sköljas med destillerat vatten som omhändertages för indunstning och viktbestämning.
- Öppna reglerventilen och töm med fullt luftflöde vakuumslangens vatteninnehåll genom att lyfta "säckarna" mot kondensflaskan. Mät upp eller väg upp kondensatmängden. Notera kondensatmängden (g)
- Väg torkmedlet. Notera vikten (g)
- Stäng av pumpen

4 Avslutning på mätplatsen

- Vid behov grovrengörs sonden invändigt och utvändigt för återtransporten. Särskilt om provtagning utförts i korrosiva gasflöden.
- Återställ mätplatsen: stäng mätuttagen, samla ihop och kasta skräp som uppkommit under mätningen.
- Meddela driftpersonalen

5 Avslutning på laboratoriet

5.1 Utvägning av filter

- Utför samma procedur som vid invägningen
- Filter som skall analyseras med avseende på Hg eller som innehåller stoft som inte klarar upphettning skall torkas i vakuumexsickator

5.2 Provregistrering och arkivering eller analys

- Överför filterproven kvantitativt till provburkar som märks med registreringsnummer
- Arkivera eller skicka för analys
- Kassetter och transportaskar handdiskas (ej maskindisk) och handtorkas. Gamla märkningar skall avlägsnas. Används sprit om nödvändigt

5.3 Materielvård, kontroller, reparationer etc

- All materiel skall rengöras vid återkomsten till laboratoriet. Sonder rensas och renblåses. Filterhållare diskas.
- Felaktigheter som upptäckts i utrustningen under fältarbetet åtgärdas

5.4 Regenerering av torkmedel

- Förbrukat torkmedel regenereras i värmeskåp vid 180 °C (blågel) över natten
- Lagra det regenererade torkmedlet i exsickator

5.5 Utför beräkningar och skriv rapport

- Beräkningar utförs enligt SS028426
- Använd om möjligt kvalitetssäkrade beräkningsmallar
- Rapportinnehåll enligt SS028426

BILAGA F: OM KYOTOPROTOKOLLET

Källa: Stern, 2005

Internationell klimatpolitik i stället för nationell fick förstärkelse med Kyotoprotokollets ratificering. Ett av Kyotoprotokollets syften är att häva upp en del av de nationella skilnader och förutsättningar som existerar, att dela erfarenhet och forska tillsammans för att begränsa koldioxidutsläppen.

Hållbar produktion och användning av bioenergi är en viktig del i möjliga åtgärder i den här riktningen. Bioenergi produktion är baserad på användning av biobränsle som mest kommer från skogen och från träbearbetnings industrier. Utnyttjande av skogsråvaror spelar en viktig roll för såväl produktion av biobränsle som förbättringar av den globala kolbalansen därför att upptaget av koldioxid i skogarna har stor betydelse för att begränsa atmosfärens halt av koldioxid. När upptaget av luftens koldioxid i träd och mark är större än den som avges vid avverkning eller naturlig nedbrytning skapas en kolsänka som kommer att räknas som en del av ett lands åtagande i Kyotoprotokollet. Det är viktigt att hitta bra lösningar för att öka nettobindningen av kol medan ett annat viktigt mål för skogsbruket är att öka utnyttjande av skogsråvaror. Det är särskilt viktigt för länder med stora skogsarealer som ska minska koldioxidutsläpp genom ökning av bioenergiproduktion.

Ryssland ratificerade Kyotoprotokollet i höst, 2004, och Kyotoprotokollet trädde i kraft (utan USA). Handel med utsläppsrätter enligt EG:s direktiv förväntas påbörjas i januari 2005 och tilldelningen av utsläppsrätter enligt den nationella tilldelningsplanen fastställdes den 30 september 2004.

Den första handelsperioden pågår mellan år 2005 –2007 och är en inledande fas inför den internationella utsläppshandel som påbörjas år 2008 inom ramen för Kyotoprotokollets första åtagande period.

Källa: Energimyndigheten, 2001

Enligt Kyotoprotokollet tilldelades EU en kvot som innebär att utsläppen skulle sänkas med 8 % till perioden 2008-2012 jämfört med 1990 års nivå. Energisektorn står för omkring 80 % av EU:s utsläpp av växthusgaser.

I Kyotoprotokollet omfattar begreppet växthusgaser sex olika gaser. Den vanligaste, koldioxid, står för omkring 80 % av EU:s totala utsläpp av växthusgaser. Metan och dikväveoxid (lustgas) är det näst vanligaste, tillsammans står de för nästan 20 %. De övriga gaserna, fluorkolväten, perfluorkolväten och svavelhexafluorid, står för en liten del av utsläppen.

Växthusgaser (anthropogenic gases): CO₂; CH₄; N₂O; hydrofluorocarbons (HFCs); PFCs; SF₆

Källa: Energimyndigheten, 2004

Regeringens klimatpolitiska proposition antogs av riksdagen i mars 2002. Beslutet innebär en målsättning att minska Sveriges utsläpp av växthusgase med 4 % fram till 2008 – 2012 jämfört med år 1990. Detta är ett ambitiösare mål än Sveriges åtagande enligt EU:s bördefördelning av åtagandet enligt Kyotoprotokollet på plus 4%. Det internationella åtagandet är dock, till skillnad från det nationella målet, legalt bindande när protokollet trädde i kraft.

Det svenska utsläppsmålet förutsätts uppnås med inhemska åtgärder och utan att utnyttja insatser utomlands som t ex Kyotoprotokollets flexibla mekanismer eller att tillgodogöra sig s k sänkor (skogen upptag av koldioxid). Samtidigt ska Sverige skaffa erfarenhet av och bidra till utvecklingen av flexibla mekanismerna i Kyotoprotokollet.